



**Universidad Científica del Perú - UCP**  
*Registrado en el Asiento N° A00010 de la Partida N° 11000318, Personas Jurídicas de Iquitos,  
Superintendencia de los Registros Públicos - SUNARP*

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL,  
SUSTITUYENDO EL AGREGADO GRUESO POR  
PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO,  
DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN - 2019”.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES** : BACH. MAURO SALDAÑA GUERRERO  
BACH. CECILIA MEGO GÓMEZ

**ASESOR** : ING. ULISES OCTAVIO IRIGOIN CABRERA, M. Sc.

**CO – ASESORA** : ING. CLAUDIA DE JESÚS MORALES AQUITUARI

**TARAPOTO – SAN MARTÍN - SAN MARTÍN - PERÚ**

**2019**

## DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por darme la salud y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, Carlos y Mirtha por darme la inspiración, su amor, trabajo, paciencia, esfuerzo y sacrificio en todos estos años. Gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí, y es un orgullo y un privilegio el ser su hijo, ustedes son los mejores padres.

A mis hermanos, Carlos Ricardo y Cinthya Milagros por estar siempre presentes acompañándome; que este logro los aliente a cumplir sus anhelos, metas personales y profesionales.

***Mauro Saldaña Guerrero***

A mis padres, Saúl y Cecilia por su sacrificio y esfuerzo, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mi capacidad; y, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre me han brindado su comprensión, cariño y amor.

A mis hermanas, quienes con su palabra de aliento no me dejaron decaer para seguir adelante y buscaron en mí la perseverancia y el cumplimiento de mis metas y objetivos.

Y a todas aquellas personas que, durante estos cinco años estuvieron a mi lado apoyándome hasta lograr que este sueño se haga realidad.

***Cecilia Mego Gómez***

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por brindarnos salud, fuerza y voluntad; y, por permitirnos tener y disfrutar de nuestras familias. A la vida, porque cada día nos demuestra la hermosa que es, y lo justa que puede llegar a ser, y a las siguientes personas e instituciones y personas:

- A la universidad Científica del Perú, por ser nuestra Alma Mater y a toda su plana de Docentes capacitados para darnos la mejor formación ética y académica, y al programa Beca 18, por darnos la oportunidad de ser profesionales.
- A los laboratorios de suelos y ensayo de materiales de la Universidad Científica del Perú – Filial Tarapoto y de la Sede Iquitos - Perú por facilitarnos sus instalaciones para realizar los ensayos para esta investigación.
- A la Ing. Kiara Maritza Tuanama Sarria, por habernos dado su apoyo y habernos orientado en la ejecución de la investigación.
- A la Ing. Claudia de Jesús Morales Aquituari, por haber participado activamente en la formulación del proyecto y su valiosa orientación en la elaboración del Informe Final de Tesis.
- Al Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, por habernos asesorado en todo el proceso de investigación y darnos la confianza para terminarla.
- A nuestros jurados, por el aporte académico y técnico para la presentación de este trabajo.

***Cecilia Mego Gómez***

***Mauro Saldaña Guerrero***

**CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP**

El presidente del Comité de Ética de la Universidad Científica del Perú - UCP

Hace constar que:

La Tesis titulada:

**"CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL, SUSTITUYENDO EL AGREGADO  
GRUESO POR PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO, DEPARTAMENTO DE  
SAN MARTÍN - 2019"**

De los alumnos: **CECILIA MEGO GÓMEZ Y MAURO SALDAÑA GUERRERO**, de la Facultad de Educación y Humanidades, pasó satisfactoriamente la revisión por el Software Antiplagio, con un porcentaje de **4% de plagio**.

Se expide la presente, a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

San Juan, 23 de julio del 2020.



Dr. César J. Ramal Asayag  
Presidente del Comité de Ética - UCP

CJRA/lasda  
089-2020



FACULTAD  
 CIENCIAS E  
 INGENIERÍA

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Con Resolución Decanal N° 758-2019-UCP-FCEI del 30 de setiembre de 2019, la FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP designa como Jurado Evaluador y Dictaminador de la Sustentación de Tesis a los Señores:

- Ing. Caleb Rios Vargas, M. Sc. Presidente
- Ing. Joel Padilla Maldonado, M. Sc. Miembro
- Ing. Luis Paredes Aguilar, M. Sc. Miembro

En la ciudad de Tarapoto, siendo las 18:00 horas del día viernes 04 de octubre de 2019, en las instalaciones de la UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL PERÚ - UCP, se constituyó el Jurado para escuchar la sustentación y defensa de la Tesis: "CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL, SUSTITUYENDO EL AGREGADO GRUESO POR PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN – 2019" Presentada por la sustentante:

**MAURO SALDAÑA GUERRERO Y CECILIA MEGO GÓMEZ**

Asesor (es): Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc. y a la co-asesora, la Ing. Claudia de Jesús Morales Aquituari.

Como requisito para optar al título profesional de: **Ingeniero Civil**

Luego de escuchar la Sustentación y formuladas las preguntas las que fueron: ABSUELTAS

El jurado después de la deliberación en privado llegó a la siguiente conclusión:

La Sustentación es: APROBADA POR MAYORIA

En fe de lo cual los miembros del jurado firman el acta.

Miembro

Presidente

Miembro

CALIFICACIÓN:	Aprobado (a) Excelencia	: 19 – 20
	Aprobado (a) Unanimidad	: 16 - 18
	Aprobado (a) Mayoría	: 13 – 15
	Desaprobado (a)	: 00 – 12

## APROBACIÓN

Tesis sustentada en acto público el 04 de Octubre a las 18:00 horas del 2019




---

Ing. Caleb Ríos Vargas, M. Sc.  
PRESIDENTE DE JURADO



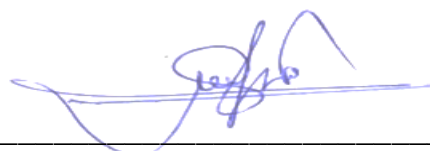
---

Ing. Joel Padilla Maldonado, M. Sc.  
MIEMBRO DE JURADO



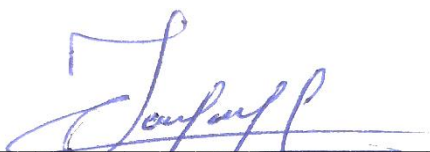
---

Ing. Luis Paredes Aguilar, M. Sc.  
MIEMBRO DE JURADO



---

Ing. Ulises Octavio Irigoin Cabrera, M. Sc.  
ASESOR



---

Ing. Claudia de Jesús Morales Aquituari  
CO-ASESORA

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	4
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
APROBACIÓN .....	7
ÍNDICE GENERAL.....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	13
ÍNDICE DE FIGURAS .....	16
RESUMEN.....	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes del estudio .....	24
2.2. Bases Teóricas .....	25
2.2.1. El Concreto .....	25
2.2.2. Componentes y complementos del concreto.....	26
2.2.2.1. Cemento Portland .....	26
2.2.2.2. Agua	28
2.2.2.3. Agregados.....	29
2.2.3 Fases de la producción del concreto .....	30
2.2.3.1. Dosificación.....	30
2.2.3.2 Mezclado del concreto .....	30
2.2.3.3 Transporte y colocación del concreto .....	31
2.2.3.4 Compactación .....	31
2.2.3.5 Curado del concreto .....	31
2.2.4. Concreto Ligero.....	31
2.2.4.1. Métodos de obtención del concreto ligero .....	34
2.2.5. Concreto ligero a base de poliestireno expandido.....	38
2.2.5.1. Antecedentes Históricos.....	38
2.2.5.2. Perlas de poliestireno para elaboración de concreto estructural y no estructural	38



2.2.5.3. Propiedades y características. ....	39
2.2.5.4 Dosificación de la mezcla .....	39
2.2.5.5 Ventajas del concreto ligero .....	40
2.2.5.6. Desventajas. ....	42
2.2.6. Característica de los materiales. ....	42
2.2.6.1. Cemento Portland tipo I (Pacasmayo S.A.A).....	42
2.2.7 Agregados.....	46
2.2.7.1 Agregado Fino .....	46
2.2.7.1.1. Peso Unitario o Peso Aparente: (NTP 400.017), (ASTM C-29).....	47
2.2.7.1.2. Peso Unitario Suelto (P.U.S.) .....	48
2.2.7.1.3. Peso Unitario Compactado o Varillado (P.U.C.) .....	48
2.2.7.1.4. Peso Específico y Absorción Agregados Finos: (NTP 400.022), (ASTM C-128) 49	
2.2.7.1.5. Peso Específico de Masa (PEmasa) .....	49
2.2.7.1.6. Peso Específico de Masa Seca (PEmse) .....	49
2.2.7.1.7. Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (PEmssse): 50	
2.2.7.1.8. Peso Específico Aparente (PE.aparente): .....	50
2.2.7.1.9. Porcentaje de Absorción: .....	51
2.2.7.1.10. Contenido de Humedad: (NTP 339.185), (ASTM C-566) .....	51
2.2.7.1.11. Granulometría del Agregado Fino (NTP 400.012) .....	52
2.2.7.1.12. Módulo de Finura: (Norma NTP. 400.011).....	52
2.2.7.1.13. Superficie Específica: .....	53
2.2.7.1.14. Material que pasa la malla N° 200: (NTP 400.018), (ASTM C- 117). 54	
2.2.7.2 Agregado Grueso.....	55
2.2.7.2.1. Peso Unitario o Peso Aparente: (NTP 400.017), (ASTM C- 29) 56	
2.2.7.2.2. Peso Unitario Compactado (P.U.C.).....	57

2.2.7.2.3.	Peso Unitario Suelto (P.U.S.) .....	57
2.2.7.2.4.	Peso Específico y Porcentaje de Absorción (NTP 400.022), (ASTM C-127).	57
2.2.7.2.5.	Contenido de Humedad (NTP 339.185), (ASTM C-566).....	60
2.2.7.2.6.	Tamaño Máximo .....	61
2.2.7.2.7.	Tamaño Nominal Máximo del agregado .....	62
2.2.7.2.8.	Módulo de Finura: (NTP 400.011). .....	62
2.2.7.2.9.	Superficie Específica.....	62
2.2.7.2.10.	Material que pasa la malla N° 200: (NTP 400.018), (ASTM C- 117).	63
2.2.8.	Agregado Global. ....	63
2.2.8.1.	Granulometría. ....	63
2.2.8.2.	Peso Unitario Compactado del Agregado Global .....	64
2.2.9.	Poliestireno expandido .....	66
2.2.10.	Agua .....	66
2.2.11.	Aditivos .....	68
2.2.11.1.	Aditivo reductor de agua de alto rango y superplastificante....	68
2.2.12.	Diseño de Mezcla.....	69
2.2.12.1.	Método de Mezclado. ....	71
2.2.13.	Ensayo del concreto en estado fresco.....	72
2.2.13.1.	Consistencia (Asentamiento: (NTP 339.035), (ASTM C - 143).	72
2.2.13.2.	Exudación (NTP 339.077) .....	73
2.2.13.3.	Temperatura del concreto (NTP 339.184), (ASTM C1064).....	74
2.2.14.	Ensayo del Concreto Endurecido. ....	74
2.2.14.1.	Resistencia a la Compresión: (NTP 339.034).....	74
2.2.14.2.	Módulo de Elasticidad Estático (Norma ASTM C 469-94). ....	75
2.3.	Definición de términos básicos.....	77

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	79
3.1. Tipo y diseño de Investigación .....	79
3.2. Diseño de la investigación.....	79
3.3. Población y muestra.....	80
3.4. Técnicas, Instrumentos, Procedimientos de Recolección de Datos.....	80
3.5. Procedimientos de recolección de datos .....	80
3.6. Variables .....	80
3.6.1. Identificación de las Variables .....	80
3.6.2. Operacionalización de la variable.....	81
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	81
4.1. Caracterización de los agregados .....	82
4.1.1. Agregado Fino.....	82
4.1.1.1. Peso unitario suelto (PUS) .....	82
4.1.1.2. Peso unitario compactado (PUC) .....	82
4.1.1.3. Peso específico y absorción.....	83
4.1.1.4. Análisis granulométrico y módulo de fineza.....	84
4.1.1.5. Material que pasa el tamiz N°200.....	85
4.1.2. Agregado Grueso.....	86
4.1.2.1. Peso Unitario suelto (PUS).....	86
4.1.2.2. Peso unitario compactado (PUC) .....	87
4.1.2.3. Peso específico y absorción.....	87
4.1.2.4. Análisis granulométrico y módulo de fineza.....	88
4.1.2.5. Material que pasa el tamiz N° 200.....	89
4.1.3. Perlas de poliestireno.....	90
4.1.3.1. Peso unitario suelto (PUS). .....	91
4.1.3.2. Peso unitario compactado (PUC). .....	92
4.1.3.3. Peso específico y absorción.....	92
4.1.3.4. Análisis granulométrico. ....	93

4.1.3.5. Módulo de fineza. ....	96
4.1.3.6. Superficie específica .....	97
4.1.3.7. Material que pasa el tamiz N° 200.....	99
4.2. Fase de diseño y prueba.....	100
4.2.1. Diseño de Mezclas.....	100
4.2.1.1. Concreto liviano no estructural. ....	100
4.2.2. Ensayo al concreto fresco .....	110
4.2.2.1. Asentamiento .....	111
4.2.2.2. Temperatura del concreto .....	111
4.2.2.3. Exudación .....	112
4.2.3. Ensayos al concreto endurecido .....	113
4.2.3.1. Resistencia a la compresión.....	113
4.2.3.2. Ensayo de módulo de elasticidad.....	115
4.3. Análisis e interpretación de resultados. ....	116
4.3.1 Análisis de las características de los materiales. ....	116
4.3.2 Análisis de diseño de mezcla de Concreto liviano no estructural. ....	117
4.3.2.1. Análisis de diseño de mezclas. ....	118
4.3.2.2. Análisis a los ensayos del concreto fresco. ....	118
4.3.2.3. Análisis a los ensayos del concreto endurecido. ....	119
4.3.2.3.1. Análisis de densidad .....	119
4.3.2.3.2 Análisis de resistencia a la compresión. ....	120
4.3.2.3.3. Análisis del módulo de elasticidad.....	120
4.3.3. Verificación de la Hipótesis. ....	121
4.3.3.1. Hipótesis general. ....	121
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	122
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	126
6.1. CONCLUSIONES .....	126
6.2 RECOMENDACIONES .....	127

BIBLIOGRAFÍA .....	128
ANEXO N°01. MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	133

### ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°01: Cementos Peruanos .....	27
TABLA N°02: Principales componentes del cemento Portland.....	28
TABLA N°03: Cuadro de categorización de concretos livianos. ....	32
TABLA N° 04: Densidad y resistencia del concreto con perlas de poliestireno	39
TABLA N° 05: Diseños de mezcla para concretos con poliestireno .....	39
TABLA N° 06: Tabla de conductividad térmica v/s densidad aparente .....	40
TABLA N° 07: Requisitos químicos del Cemento Portland tipo I .....	43
TABLA N° 08: Requisitos físicos del Cemento Portland tipo I .....	43
TABLA N° 09: Características químicas del Cemento Pacasmayo S.A.A.....	44
TABLA N° 10: Características físicas de cemento Pacasmayo S.A.A .....	45
TABLA N° 11. Requisitos para clasificar agregados gruesos y finos. ASTM <b>C-33</b> .....	47
TABLA N°12: Límites granulométricos según normas NTP 400.037 y ASTM C - 33 .....	52
TABLA N°13 Cantidad mínima de la muestra del agregado grueso o global....	61
TABLA N° 14. Huso DIM 1045 – Agregado Global.....	64
TABLA N°15. Porcentajes de agregados fino y grueso para agregado global sugerido .....	65
TABLA N°16: Peso unitario compactado de agregado global según % de arena.....	65

TABLA N° 17: Límite permisible del agua .....	67
TABLA N°18: Clases de mezcla según su asentamiento .....	73
TABLA N°19: Operacionalización de las variables .....	81
TABLA N°20: Peso unitario suelto del agregado fino .....	82
TABLA N°21: Peso unitario compactado del agregado fino .....	83
TABLA N° 22: Gravedad específica y absorción del agregado fino .....	83
TABLA N°23: Análisis granulométrico del agregado fino.....	84
TABLA N°24: Material que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino .....	85
TABLA N°25: Peso unitario suelto del agregado fino .....	86
TABLA N°26: Peso unitario compactado del agregado grueso .....	87
TABLA N°27: Peso específico y absorción del agregado grueso .....	87
TABLA N°28: Análisis granulométrico del agregado Grueso .....	88
TABLA N°29: Material que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino. ....	90
TABLA N°30. Peso unitario suelto de la perla de poliestireno. ....	91
TABLA N°31: Peso unitario compactado de la perla de poliestireno .....	92
TABLA N°32: Peso específico y absorción de la perla de poliestireno .....	92
TABLA N°33: Análisis granulométrico de la muestra N°01 de poliestireno .....	93
TABLA N°34: Análisis granulométrico de la muestra N°02 de poliestireno .....	94
TABLA N°35: Análisis granulométrico de la muestra N°03 de poliestireno .....	95
TABLA N°36: Módulo de fineza de la perla de poliestireno. ....	96
TABLA N°37: Superficie específica muestra N° 01 del poliestireno.....	97
TABLA N°38: Superficie específica muestra N° 02 del poliestireno.....	98

TABLA N°39: Superficie específica muestra N°03 del poliestireno.....	98
TABLA N°40: Material que pasa por el tamiz N°200 perla de poliestireno.....	99
TABLA N°41: Categorización de los concretos livianos.....	100
TABLA N°42: Diseño de concreto liviano no estructural con el 60% de perlas de poliestireno – CL1 .....	100
TABLA N°43: Diseño de concreto liviano no estructural con el 80% de perlas de poliestireno – CL02 .....	104
TABLA N°44: Diseño de concreto liviano no estructural con el 100% de perlas de poliestireno – CL03 .....	107
TABLA N°45: Asentamiento de concreto liviano no estructural .....	111
TABLA N°46: Ensayo de temperatura del concreto.....	112
TABLA N°47: Cuadro de la resistencia a la compresión CL01 .....	113
TABLA N°48: Cuadro de la resistencia a la compresión CL02 .....	114
TABLA N°49: Cuadro de la resistencia a la compresión CL03 .....	114
TABLA N°50: Cuadro de módulo de elasticidad al 60% .....	115
TABLA N°51: Cuadro de módulo de elasticidad al 80% .....	116
TABLA N°52: Cuadro de módulo de elasticidad al 100% .....	116
TABLA N°53: Cuadro de resumen .....	117
TABLA N°54: Cuadro resumen de diseño de mezclas “Concreto liviano no estructural” .....	118
TABLA N°55: Cuadro resumen de ensayos al concreto fresco .....	118
TABLA N°56: Cuadro resumen de ensayos .....	119
TABLA N°57: Cuadro resumen de ensayos de resistencia a la compresión...	120

TABLA N°58: Cuadro resumen de ensayos de módulo de elasticidad .....	120
TABLA N°59: Cuadro de verificación de hipótesis.....	121

## ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico N° 01 Piedra Pómez .....	35
Gráfico N° 02: Escoria volcánica.....	35
Gráfico N° 03 Vermiculita.....	36
Gráfico N° 04 Arcilla expandidas.....	37
Gráfico N° 05: Perlas de poliestireno expandido .....	38
Gráfico N° 06 Curva Esfuerzo – Deformación para el concreto.....	77
Gráfico N°08: Curva granulométrica del agregado grueso.....	89
Gráfico N° 09: Imágenes del área de producción de empresa ECOPOR .....	91
Gráfico N° 10: Curva granulométrica muestra N° 01 perla de poliestireno .....	94
Gráfico N°11: Curva granulométrica muestra N°02 perla de poliestireno .....	95
Gráfico N°12 Curva granulométrica muestra N°03 perla de poliestireno .....	96
Gráfico N°13 Composición por peso de un metro cúbico con 60% de perlas de poliestireno.....	103
Gráfico N°14 Composición por peso de un metro cúbico con 80% de perlas de poliestireno.....	107
Gráfico N°15 Composición por peso de un metro cúbico con 100% de perlas de poliestireno .....	110
Gráfico N°16: Asentamiento del concreto liviano no estructural CL01, CL02, CL03.....	111
Gráfico N°17 Temperatura del concreto.....	112



Gráfico N° 18. Ensayo de exudación en recipiente de 10" de diámetro.....	113
Gráfico N° 19. Resistencia a la compresión .....	113
Gráfico N° 20. Módulo de elasticidad .....	115

## RESUMEN

En esta investigación de tipo cuasi experimental, el objetivo fue determinar las principales características físicas y mecánicas del concreto liviano no estructural, al sustituir porcentajes del agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo de  $\varnothing=1/8"$ , buscándose cumplir con las densidades y resistencia a la compresión establecidas por la "Portland Cement Association". Se utilizó agregados fino y grueso de módulo de fineza de 1,95 y 6,75, respectivamente, y perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal  $\varnothing 1/4"$  en sustitución del 60%, 80% y 100% de volumen de agregado grueso, aditivo superplastificante (Neoplast 8500 HP), cemento portland, y agua, pero manteniendo la relación a/c del diseño de 0,55 y la proporción de 52% de agregado fino.

A los 28 días, las densidades y resistencias del concreto alcanzadas al sustituir el 60%, 80% y 100% de agregado grueso por perlas de poliestireno expandido fueron: 1,478.685 kg/m<sup>3</sup> y  $f'c = 128 \text{ kg/cm}^2$ , 1 458.046 kg/m<sup>3</sup> y  $f'c = 115 \text{ kg/cm}^2$ , y 1,298.402 kg/m<sup>3</sup> y  $f'c = 99 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente, con lo cual queda probado que el concreto obtenido se encuentra en el rango de resistencia a la compresión, para concreto liviano no estructural, propuesta por la Portland Cement Association.

**Palabras clave:** Concreto liviano no estructural, perlas de poliestireno.

## **ABSTRACT**

In this quasi-experimental investigation, the objective was to determine the main physical and mechanical characteristics of non-structural lightweight concrete, by replacing percentages of the coarse aggregate with expanded polystyrene beads of maximum size  $\varnothing = 1/8"$ , seeking to comply with the densities and resistance to the compression established by the Portland Cement Association. Fine and coarse aggregates of fineness modulus of 1.95 and 6.75, respectively, and expanded polystyrene beads of nominal maximum size  $\varnothing 1/4"$  were used to replace 60%, 80% and 100% of volume of coarse aggregate, superplasticizer additive (Neoplast 8500 HP), Portland cement, and water, but maintaining the design a/c ratio of 0.55 and the proportion of 52% fine aggregate.

At 28 days, the concrete densities and resistances achieved by replacing 60%, 80% and 100% of coarse aggregate with expanded polystyrene beads were: 1,478,685 kg / m<sup>3</sup> and  $f'c = 128$  kg / cm<sup>2</sup>, 1,458,046 kg / m<sup>3</sup> y  $f'c = 115$  kg / cm<sup>2</sup>, and 1,298,402 kg / m<sup>3</sup> and  $f'c = 99$  kg / cm<sup>2</sup>, respectively, thus, it is proven that the concrete obtained is in the compression resistance range, for lightweight non-structural concrete, proposed by the Portland Cement Association.

**Key words:** Lightweight non-structural concrete, polystyrene beads.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

La presente investigación titulada “Concreto liviano no estructural, sustituyendo el agregado grueso por perlas de poliestireno expandido, departamento de San Martín - 2019”, trata del estudio de las características físicas del material pétreo, perlas de poliestireno expandido y de las propiedades físicas y mecánicas más importantes del concreto liviano tanto en estado fresco como endurecido, elaborado con agregados fino y grueso y utilizando aditivos incorporador de aire y superplastificante.

La industria de la construcción insume enormes cantidades de agregados pétreos para la fabricación del concreto, material de uso universal e insustituible en las obras de infraestructura; a la vez, la industria de los materiales y la petroquímica generan sub productos que van contaminando el planeta, generando daños ecológicos que viene atentando no sólo contra la biodiversidad, sino la misma humanidad. Ante esta realidad, el uso del concreto liviano o de baja densidad se constituye en una alternativa frente al impacto ambiental que el mundo afronta, ante la explotación desmedida y aún necesaria de los agregados pétreos y la generación de los subproductos como la espuma de poliestireno de la industria del petróleo.

Los bloques de concreto convencional son utilizados en todo el país, sin considerar que en investigaciones efectuadas en universidades peruanas se está alcanzando unidades de ladrillo alivianado, con valores de resistencia próximos a los de un concreto para uso estructural, al sustituir parcial o totalmente el agregado grueso por perlas de poliestireno expandido.

En la ciudad de Tarapoto la migración rural y de otras localidades hacia la ciudad es notable, incrementando la demanda de vivienda y demás infraestructura urbana. Los gobiernos locales están ampliando y mejorando la infraestructura urbana, la población está construyendo nuevas viviendas y en otros casos, cambiando por bloques de ladrillo, el tapial y adobe de las viejas construcciones y mejorando y ampliando las existentes de ladrillo de arcilla cocida. Para la construcción de viviendas en Tarapoto y de más provincias de san Martín proceden de Rioja, lo cual no solamente encarece las obras, sino la elaboración de éste influye en la naturaleza causando un impacto ambiental por la utilización de extensas áreas de tierras de cultivo en la zona de extracción de la tierra arcillosa, causando estragos en la morfología y el área cultivable; así como, el cambio en el cauce de los ríos al extraerse el agregado grueso para la elaboración de concreto ( Irigoín, 2015 ).

Las perlitas de poliestireno expandido como parte del concreto, no es dañino para el medio ambiente, más bien aliviana su peso y también genera aislamiento térmico, acústico, y resistencia al fuego; características, que también justifican la utilización de bloque de concreto liviano.

Esta realidad problemática nos indujo a formular el problema general de la siguiente manera: ¿Cómo se ven afectadas las propiedades físicas y mecánicas del concreto al ser sustituido de la mezcla el agregado grueso, por perlas de poliestireno expandido de tamaño de  $\varnothing=1/8$ "?

Los problemas específicos que contribuyeron a esclarecer el problema general fueron los siguientes:

1. ¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas de los diseños de mezcla del concreto convencional obtenido con el agregado fino de las canteras del río Cumbaza, distrito de Morales, departamento de San Martín y el agregado grueso de las canteras del ámbito del distrito de Buenos Aires, provincia de Picota, departamento de San Martín?

2. ¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas resultantes en laboratorio de los diseños de mezcla del concreto obtenido con el agregado fino de las canteras del río Cumbaza, distrito de Morales, departamento de San Martín; sustituyendo por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo  $\varnothing=1/8"$ , el 60% del agregado grueso de las canteras del ámbito del distrito de Buenos Aires, provincia de Picota, departamento de San Martín?
3. ¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas, resultantes en laboratorio de los diseños de mezcla del concreto obtenido con el agregado fino de las canteras del río Cumbaza, distrito de Morales, departamento de San Martín; sustituyendo por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo  $\varnothing=1/8"$ , el 80% del agregado grueso correspondiente a los diámetros de  $\varnothing=1/2"$  hasta  $\varnothing=1/4"$  de las canteras del ámbito del distrito de Buenos Aires, provincia de Picota, departamento de San Martín?
4. ¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas, resultantes en laboratorio de los diseños de mezcla del concreto obtenido con el agregado fino de las canteras del río Cumbaza, distrito de Morales, departamento de San Martín; sustituyendo por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo  $\varnothing=1/8"$ , el 100% del agregado grueso correspondiente a los diámetros de  $\varnothing=1/2"$  hasta  $\varnothing=1/4"$  de las canteras del ámbito del distrito de Buenos Aires, provincia de Picota, departamento de San Martín?

El objetivo general que contribuyó a dar respuesta al problema fue:

Determinar cuáles son las características físicas y mecánicas del concreto liviano no estructural al ser sustituido de la mezcla diversos porcentajes de agregado grueso, por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal de  $\varnothing=1/8"$ .

Los objetivos específicos que contribuyeron con la respuesta a la problemática son:

1. Determinar las propiedades físicas en estado fresco, del concreto liviano no estructural al ser sustituido el 60%, 80% y 100% del volumen de agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal  $\varnothing=1/8$ ".
2. Determinar las propiedades físicas y mecánicas en estado endurecido, del concreto liviano no estructural al ser sustituido el 60%, 80% y 100% del volumen de agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal  $\varnothing=1/8$ ".
3. Establecer un análisis comparativo de las propiedades mecánicas en estado endurecido, del concreto liviano no estructural al ser sustituido el 60%, 80% y 100% del volumen de agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal  $\varnothing=1/8$ ".
4. Establecer un análisis comparativo, para determinar si los resultados están en el rango de clasificación según la Portland Cement Association.

La Hipótesis que, orientó en la investigación fue: "Las propiedades físico – mecánicas del concreto liviano no estructural sustituyendo diversos porcentajes del agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal de  $\varnothing=1/8$ " cumplen con la densidad y resistencia a la compresión establecidas por el "Portland Cement Association" para uso en la elaboración de Concreto liviano no estructural".

Las propiedades físicas estudiadas de los agregados fueron: peso unitario suelto, peso unitario compactado, peso específico, absorción, granulometría, módulo de finura, superficie específica, material que pasa la malla N° 200; asimismo, se estudió las características químicas siguientes: pH, cloruros con Ion Cl, sulfatos con Ion SO<sub>4</sub>, sales solubles totales, impurezas orgánicas totales.

Sustituyendo parcialmente estos agregados por perlitas de poliestireno expandido, se diseñaron mezclas con relaciones A/C de 0.70, 0.60, 0.50, alcanzándose concretos livianos, entre otros aspectos, de resistencias a la compresión, flexión, satisfactorios.

Los resultados obtenidos de ensayos de laboratorio se han efectuado de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas N.T.P. y A.S.T.M. Se utilizó la estadística descriptiva e inferencial; correspondiendo el diseño de la investigación a un pre experimento, sin menoscabar que gran parte es del tipo descriptiva y aplicada.

El Informe Final de Tesis ha sido estructurado en siete (7) capítulos: Capítulo I: Introducción; Capítulo II: Marco Teórico Referencial, que incluye Antecedentes del Estudio, Bases Teóricas y Definición de Términos Básicos; Hipótesis, Variables, Operacionalización de Variables; Capítulo III: Materiales y Métodos, Metodología de la investigación, Técnicas, Instrumentos y Procedimiento de Recolección de datos; variables y operacionalización de variables y prueba de la Hipótesis; Capítulo IV: Resultados; Capítulo V: Discusión; Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones y Capítulo VII: Bibliografía.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

## 2.1. Antecedentes del estudio

Quezada (2010), en su tesis titulada “Estudio técnico y económico para la elaboración de bloques de hormigón liviano en base a poliestireno expandido” trabajó con una muestra a base de poliestireno a la edad de 28 días y logró una resistencia promedio de 47.63kg/cm<sup>2</sup>; así mismo, se logró un bloque con un peso 25.7% menor al de un bloque tradicional con absorción de agua de 152,3 kg/m<sup>3</sup> y una humedad no mayor al 2,2% cumpliendo la normatividad de Chile.

Valdez Guzmán (2010), en su tesis titulado “Hormigones Livianos” trabajó con una muestra de concreto liviano, alcanzándose resistencias a la compresión a los 7 días de 4.5Mpa, a los 14 días de 5.7Mpa y a los 28 días de 6.6 Mpa; asimismo, concluyó que los bloques de concreto liviano presentan propiedades acústicas, térmicas y de gran resistencia al fuego.

Según Contreras (2016), en su trabajo de tesis “Diseño de mezcla de concreto a base de perlas de poliestireno expandido como agregado para la elaboración de bloques destinados a mampostería de concreto aligerado”, analizó resultados de propiedades físicas y mecánicas a los 28 días, a partir de la elaboración de 8 probetas de un concreto patrón y 24 bloques de concreto experimental sustituyendo porcentajes de agregado grueso por perlas de poliestireno, encontrando disminución en el peso, bajos costos de producción y mayor resistencia a la compresión en los bloques experimentales en los que se sustituyó un 75% y 15% de agregado por perlas de poliestireno, señalando que los otros porcentajes de sustitución no mostraron su eficiencia.

Según Manrique (2016), en su proyecto de tesis titulado “Diseño de una mezcla de concreto experimental sustituyendo el agregado grueso por perlas de poliestireno de Ø=3/4”, y un asentamiento de 3”, para lograr una resistencia a la compresión  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ ”. Se obtuvieron los siguientes resultados: Muestras patrón cuyo diseño  $f'c= 210\text{kg/cm}^2$ , a los 14 días los ensayos a compresión arrojaron valores en promedio 208 kg/cm<sup>2</sup> siendo el peso unitario del concreto de 2114 kg/cm<sup>2</sup>, 2020kg/cm<sup>2</sup> y 2115kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente; sin embargo, en las muestras con reemplazo del 50%, no obstante haberse diseñado la mezcla



para 210kg/cm<sup>2</sup>, se alcanzó valores de 26 kg/cm<sup>2</sup> y para una sustitución de 100% de agregado grueso se obtuvo resultados de 46 kg/cm<sup>2</sup>); a partir estos datos, el investigador concluye que, no cumple de ninguna manera con los criterios de aceptación para su uso en miembros estructurales, indicando que podría tener un uso en mampostería en variedades de tipos de bloques de concreto liviano.

Según Tuanama (2019), en su trabajo de investigación “Concreto liviano no estructural, sustituyendo parcialmente el agregado grueso por perlas de poliestireno expandido, departamento de San Martín, provincia de San Martín, Tarapoto 2019”, concluye que, sustituyendo un 30% del agregado grueso por perlas de poliestireno, logró alcanzar una resistencia a la compresión de 173 kg/cm<sup>2</sup> en promedio.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. El Concreto**

Es una mezcla de cemento Portland, agregados (fino y grueso), aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades físicas y mecánicas prefijadas; y algunas veces se añaden sustancias llamados aditivos que mejoran o modifican las propiedades del concreto (Abanto Castillo, pág. 11)

Para Ríos (2011), el concreto es un producto artificial constituido por la mezcla básicamente de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, es el componente resultante de la combinación química del material cementante (cemento portland y agua) que une los agregados pétreos (arena: agregado fino y piedra chancada: agregado grueso), los cuales conforman el cuerpo del material, creando una masa que al endurecer forman una roca artificial. La pasta constituye la fase continua del concreto y los agregados la fase discontinua, pues éstos no se encuentran unidos y en contacto sino, se hallan separados por espesores diferentes de pasta endurecida.

El concreto es un material artificial pseudosólido elasto-viscoplástico, donde coexisten la fase sólida (áridos y cemento), la líquida (agua) y la gaseosa (aire ocluido) haciendo con ello referencia a su compleja reología (rama de la mecánica que estudia la evolución de deformaciones de un material, producidas por causas tensionales, a lo largo del tiempo) (Jiménez, García & Morán, 2000, pág. 89).

En la Norma E.060 Concreto Armado se define al concreto como mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos.

En la actualidad, el concreto es uno de los materiales de construcción más importantes y su uso es casi irremplazable en las grandes construcciones de infraestructura: complejos industriales, vías de comunicación y edificaciones en todo el mundo.

Según, González (2002), la calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente elaborado, no solamente cada una de todas las partículas de agregado es completamente cubierta por la pasta, sino también todos los espacios entre tales partículas.

## **2.2.2. Componentes y complementos del concreto**

### **2.2.2.1. Cemento Portland**

Producto obtenido por la pulverización del clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos que no excedan del

1% en peso del total siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionados se pulverizan conjuntamente con el clinker. El cemento por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire (Norma Técnica E.060: Concreto Armado – 2009).

Según refiere Ari (2002), “En 1929 como consecuencia de una serie de investigaciones experimentales, el químico R. H. Bogue establece las fórmulas que permiten el cálculo de los componentes del cemento en base a conocer el porcentaje de óxidos que contiene, habiendo sido asumidas como norma por ASTM C -150, permitiendo una aproximación práctica al comportamiento potencial de cualquier cemento Portland normal no mezclado” (Ari, 2002).

En el mercado peruano, existen los siguientes tipos:

Tipo I: Conocido como cemento portland ordinario y es el de mayor comercialización en el mercado. Se usa, donde no se requieren propiedades especiales.

Tipo II: De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Se emplea en estructuras con ambientes agresivos y/o en vaciados masivos.

Tipo III: Desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Se usa en climas fríos o en los casos en que se necesite adelantar la puesta en servicio de las estructuras.

Tipo IV: De bajo calor de hidratación. Generalmente, se lo usa para concretos masivos.

Tipo V: Alta resistencia a los sulfatos. Su uso es obligado para ambientes muy agresivos.

TABLA N°01: Cementos Peruanos

Marca	Tipo	Peso específico	Superficie específica(cm <sup>2</sup> /gr)
Sol	I	3.11	3 500
Atlas	IP	2.97	5 000
Andino	I	3.12	3 300

Andino	II	3.17	3 300
Andino	V	3.15	3 300
Pacasmayo	I	3.11	3 100
Yura	IP	3.06	3 600
Yura	IPM	3.09	3 500
Rumi	IPM	...	3 800

Fuente: (RIVVA LÓPEZ, 2013) Libro Diseño de Mezclas.

Los valores de esta tabla han sido determinados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

TABLA N°02: Principales componentes del cemento Portland

Nombre del componente	Composición	Abreviatura
Silicato de tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato de bicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato tetra cálcico	$4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

Fuente: (A.M & J.J, 1998) Libro Tecnología del Concreto

### 2.2.2.2. Agua

El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas. En general el agua potable es adecuada para el concreto. Su función principal es hidratar el cemento, pero también se usa para mejorar la trabajabilidad de la mezcla (HARMSEN, 2005)

Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para

aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos. El agua utilizada para la preparación y curado del concreto deberá cumplir con las exigencias de la Norma NTP 339.088.

### **2.2.2.3. Agregados**

Los agregados, llamados también áridos o inertes, se definen como el conjunto de partículas, sean éstos de origen natural o artificial, que puedan ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma Técnica Peruana 400.011.

Los agregados ocupan alrededor de las 3/4 partes del volumen total del concreto, por lo que es preciso tener un especial cuidado en el estudio de su origen a partir del tipo de la roca madre y sus principales características físicas y químicas, porque éstas influyen directamente en la calidad del concreto.

Las características físicas más importantes de los agregados son: peso unitario, peso específico, contenido de humedad, porosidad y la distribución granulométrica de las partículas, conocida como granulometría, el módulo de finura; para las cuales existen una serie de ensayos de laboratorio estandarizados, para su comparación con valores de referencia establecidos en las normas o para establecerlo en los diseños de mezcla de concreto.

(RIVVA LÓPEZ, 2013), la granulometría es un elemento fundamental en la preparación del concreto, estando relacionado con la trabajabilidad del concreto en estado fresco y en las propiedades del concreto endurecido, como la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.

El muestreo de los agregados es una operación fundamental en el proceso de control de calidad, se realiza según la Norma Técnica NTP 400.010, concordante con la Norma ASTM C 702.

El agregado según diámetro de las partículas, se divide en agregados grueso y fino; los cuales, como se verá, cumplen funciones diferentes, pero complementarias en el concreto. Muchas veces, ambos agregados están naturalmente mezclados en canteras en el lecho de los ríos, al que se le conoce en Perú como hormigón y en muchos de los casos se usa para preparar concreto sin el tratamiento, chancado y separación previa.

### **2.2.3 Fases de la producción del concreto**

#### **2.2.3.1. Dosificación**

La dosificación implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el concreto a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o adherencia correctos. Generalmente expresado en gramos por metro cúbico (g/m<sup>3</sup>) (Wikipedia, 2018).

#### **2.2.3.2 Mezclado del concreto**

La operación de mezclado consiste básicamente en la rotación o batido, con el propósito de cubrir la superficie de todas las partículas del agregado con la pasta de cemento y mezclar todos los ingredientes del concreto en una masa uniforme; esta uniformidad no debe afectarse durante el proceso de descarga de la mezcladora.

El tiempo mínimo de mezclado del concreto es función de la cantidad de mezcla a preparar y del número de revoluciones de la mezcladora. Se mide a partir del instante en que todos los ingredientes están en la máquina. Una especificación usual es la de un minuto por 0.75m<sup>3</sup> adicionales. Sin embargo, el código ACI

requiere de un tiempo mínimo de un minuto y medio (ACI-5.8.3) (HARMSEN, 2005).

### **2.2.3.3 Transporte y colocación del concreto**

Hay muchos métodos para transportar el concreto de la mezcladora a la obra. La elección dependerá, desde luego, de consideraciones económicas y de la calidad del concreto a transportar.

Hay muchas posibilidades, desde carretillas, cubetas, saltadoras y transportadores de banda, hasta camiones especiales y de bombeo. Lo importante es que la mezcla mantenga su cohesividad y no se segregue.

### **2.2.3.4 Compactación**

Consiste en eliminar el exceso de aire atrapado en la mezcla, logrando una masa uniforme que se distribuya adecuadamente en el encontrado y alrededor del esfuerzo. Este proceso también es muy importante para conseguir un buen concreto. La compactación puede hacerse manualmente mediante el chuceo o haciendo uso de vibradores. (HARMSEN, 2005).

### **2.2.3.5 Curado del concreto**

El curado es el proceso mediante el cual se busca tener saturado el concreto en el agua, hasta que los espacios ocupados por agua inicialmente sean ocupados por el gel producto de la hidratación del cemento. La falta de curado acarrea la reducción de la resistencia.

## **2.2.4. Concreto Ligero.**

A.M & J.J (1998) en su libro sobre Tecnología del Concreto clasifica al concreto ligero en tres tipos. Estos son los siguientes:

1. Al usar el agregado ligero poroso de baja gravedad específica aparente, por ejemplo, más baja que 2.6. este tipo de concreto se conoce concreto de agregado ligero.

2. Al introducir grandes vacíos dentro del concreto o masa de mortero, estos vacíos se deben distinguir de los huecos extremadamente finos producidos por arrastre de aire. A este tipo de concreto se le llama concreto aireado, concreto celular, concreto espumoso o concreto gaseoso.
3. Al omitir el agregado fino de la mezcla, de modo que un gran número de vacíos intersticiales estén presentes, se usa por lo general agregado grueso de peso normal. Este concreto se conoce como sin finos.

(Quezada Víquez (2014) realizó un cuadro de doble entrada con la categorización de los concretos livianos, tomando como base los conceptos de la “Portland Cement Association”.

TABLA N°03: Cuadro de categorización de concretos livianos.

Diseño (meta)	Densidad(kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión (Mpa)	Descripción
A	Menor a 1000	Menor a 5	Espuma de concreto
B	1000-1800	5-17	Concreto liviano no estructural
C	1800-2100	Mayor a 17	Concreto liviano estructural

Fuente: (QUESADA VÍQUEZ, 2014) Informe de Tesis.

- **El ACI 213R-87** (“Guide to structural Lightweight Aggregate Concrete” ACI manual of concrete Practice, Parte 1), para diferenciar los diferentes tipos de concretos ligeros ha establecido la siguiente clasificación:



- **Concreto ligero de uso no estructural**, es aquel con densidad entre 1120 y 1920 kg/m<sup>3</sup>, generalmente está compuesto de una mezcla de agregado ligero con agregado de peso normal. Para cumplir requisitos estructurales deberá poseer una resistencia mínima a la compresión de 17Mpa.
- **Concreto de moderada resistencia**, es aquel con densidad menor que la del concreto ligero para uso estructural, generalmente se emplea para brindar aislamiento térmico. Deberá alcanzar una resistencia a la compresión entre 7 y 17 Mpa.
- **Concreto de baja densidad**, en estos concretos la densidad varía entre 300 y 800 kg/m<sup>3</sup>; se utilizan con fines no estructurales, principalmente como aislamiento térmico.

Por otro lado, en el libro de concreto de Mindes, Young & Darwin, se sugiere otra clasificación que considera solamente dos tipos de concreto ligero, según el agregado que se utilice en su fabricación:

- **Concreto aireado en autoclave o concreto celular:** este concreto se produce especialmente para proveer aislamiento térmico (pues la matriz porosa será la encargada de brindar este aislamiento, debido a la baja conductividad del aire que se mencionó anteriormente), o como aligerante. En su preparación se utilizan los materiales comúnmente conocidos como agua, arena, cemento y aire, de los cuales, este último es el de mayor importancia en este tipo de concretos. La mayoría de estos concretos “aireados” necesitan de un aditivo que origina la formación de gases para generar burbujas de aire que posteriormente serán inyectadas a la matriz; por lo que también se le denomina concreto “espumante”. Por otro lado, está el concreto celular con autoclave que mediante la inmersión de calor al espécimen evita que la matriz de poros colapse formando una red muy resistente y además ordenada (CAMPOS, 2014)
- **Concreto con agregados ligeros.** Concreto elaborado con agregados especiales diferentes a los procedentes de las rocas calizas con los que generalmente se elaboran los concretos convencionales. Estos agregados

especiales poseen una elevada porosidad que es la responsable de su baja densidad. Entre estos agregados están los tipos expandidos que son de carácter natural que al ser sometidos a un proceso térmico adquieren su carácter poroso (por ejemplo, la arcilla expandida). Por otro lado, están los agregados de origen artificial, la mayoría de ellos son de origen polimérico. Poseen un coeficiente de conductividad térmica muy bajo, oponen buena resistencia al paso del calor debido a su microestructura.

#### **2.2.4.1. Métodos de obtención del concreto ligero**

Existen varios tipos e inclusive algunos resultan de la combinación entre ellos; por, lo que esta multiplicidad de tipos dificulta la clasificación de los concretos livianos en categorías y divisiones netamente diferenciadas en base a los distintos métodos de elaboración. Existen tres procedimientos amplios que, en forma individual o simultánea, conducen a la elaboración de los distintos tipos de concretos livianos:

- **Concreto celular:** Se le conoce como: concreto aireado, espumoso o gasificado. Se obtiene al incorporar aire o gas en el seno de la masa del concreto fresco y su mantenimiento hasta que aquél se endurezca.
- **Concreto con agregados livianos:** Utilización de agregados livianos de baja densidad relativa aparente, que puede ser de origen natural, volcánico (piedra pómez, escoria celular, arcillas expandidas, bentonita) o artificiales (perlita, vesiculita), agregados plásticos (perlitas de poliestireno expandido) en reemplazo de agregado normal. El concreto resultante se conoce generalmente adicionándole al término concreto el nombre del agregado ligero empleado, y estos son:
- **Piedra Pómez:** Material de origen volcánico, de estructura celular esponjosa obtenida naturalmente por distensión de la materia bajo la acción de una fuerte presión de gas en su interior y un enfriamiento rápido. Su peso específico aparente, en estado seco, varía entre 500 y 700 *kg/m*

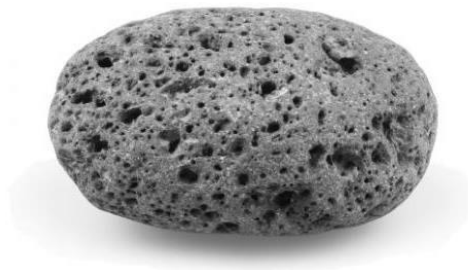


Gráfico N° 01 Piedra Pómez  
Fuente: <http://static.imujer.com/>

- **Escorias volcánicas:** Material de origen volcánico de células más grandes, menos numerosas y más irregulares que la piedra pómez. Su peso específico aparente para material suelto y seco varía entre 700 y 1500 *kg/m*

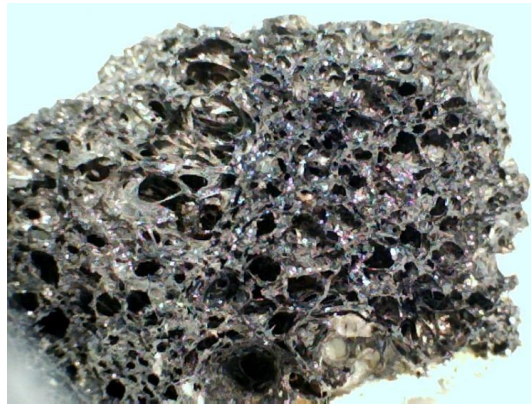


Gráfico N° 02: Escoria volcánica.  
Fuente: <http://static.imujer.com/>

**Agregados livianos artificiales:** Se generan mediante un proceso de industrialización

- **Vermiculita:** Mineral de aspecto micáceo, por su composición química, puede ser un alúmino – silicato de hierro y de magnesio. Por calentamiento a temperaturas que varía entre 700 y 1300° C alcanza una expansión de 30 a 35 veces su volumen inicial. El material triturado a la dimensión conveniente es sometido a un calentamiento brusco, y simultáneamente a un batido activo para regular la acción calorífica en toda la masa.

El proceso de expansión, (denominado exfoliación), se debe a la liberación de vapor de agua, y varía según el origen y la constitución mineral que posea; exfoliada se presenta, generalmente, desde polvo fino hasta granos de 30 mm; el peso específico aparente del material seco es de 100 a 200  $kg/m^3$ .

Los concretos livianos a base de vermiculita pueden alcanzar pesos específicos aparentes variables entre 350 y 1200  $kg/m^3$ .



Gráfico N° 03 Vermiculita.

Fuente: <http://www.lahuertinadetoni.es/>

**Arcilla y pizarras expandidas:** Cuando son calentadas rápidamente y a una temperatura adecuada, tiene la propiedad de dilatarse o hincharse, dando lugar a un producto poroso de estructura celular.

La materia prima proveniente de la cantera, previa trituración, molido y convenientemente mezclado, se introduce en hornos a temperatura entre los 1100 a 1400° C en la zona más caliente. El material arcilloso, en principio de fusión, se vuelve plástico, formándose una superficie de protección sobre las partículas; pero, mientras tanto, en el interior de la mezcla se produce un desprendimiento de gases provenientes del agua de combinación y principalmente de las materias combustibles y de los carbonatos que contienen las materias primas, o que pueden serle especialmente añadidas a tal efecto.

Este desprendimiento gaseoso da lugar a la formación de pequeñas celdas que le proporcionan al material su configuración alveolar característica.

En la elaboración de concretos livianos a base de arcillas y pizarras expandidas la dosificación correspondiente dependerá del peso específico que se desee obtener.



Gráfico N° 04 Arcilla expandidas  
Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.mx/>

**Poliestireno expandido:** La fabricación del material se realiza partiendo de compuestos de poliestireno en forma de perlititas que contienen un agente expansor habitualmente pentano. Después de una pre-expansión, las perlititas se mantienen en silos de reposo y posteriormente son conducidas hacia máquinas de moldeo, dentro de las cuales se aplica energía térmica para que el agente expansor que contienen las perlititas se caliente y éstas aumenten su volumen, a la vez que el polímero se plastifica. Durante dicho proceso, el material se adapta a la forma de los moldes que lo contienen, posee una densidad aparente entre  $10 \text{ kg/m}^3$  y  $30 \text{ kg/m}^3$ .

El poliestireno al ser uno de los mejores aislantes térmicos, se usa ampliamente en la construcción de edificios ahorradores de energía. Un edificio aislado adecuadamente con espuma de poliestireno puede reducir la energía utilizada para climatizarlo hasta un 40%.

En el concreto liviano, se utilizan perlas de poliestireno expandido, que pueden reemplazar totalmente el agregado grueso, y parcialmente el agregado fino,

porque no absorben agua, no tienen impurezas, no reaccionan con el cemento y además tiene buena adherencia.



Gráfico N° 05: Perlas de poliestireno expandido  
Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.mx/>

### **2.2.5. Concreto ligero a base de poliestireno expandido**

Se obtiene mezclando cemento, arena, agua y perlitas de poliestireno. Este tipo de concreto se diferencia de otros concretos livianos por las propiedades únicas que le aportan las partículas de poliestireno.

#### **2.2.5.1. Antecedentes Históricos**

El poliestireno expandido, fue dado a conocer el 28 de febrero de 1950 por la compañía alemana BASF siendo sus inventores el Dr. Fritz Stastny y Karl Buchholz, investigadores de los laboratorios de la empresa en Ludwigshafen. Más adelante se desarrollarían diversos métodos para la obtención de perlas y su transformación en productos (Espeso y Pérez, 2002).

#### **2.2.5.2. Perlas de poliestireno para elaboración de concreto estructural y no estructural**

La diferencia entre el uso estructural y no estructural se limita específicamente en la resistencia a la comprensión que tenga el agregado liviano, ya que la resistencia del agregado determina en forma parcial la resistencia de la mezcla final, la guía: ACI 213R14 menciona que para un uso estructural la resistencia a

compresión del agregado liviano no debería bajar de 35 MPa, de lo cual se podría deducir que la resistencia a la compresión de agregados livianos que constituyen concretos de uso no estructural es menor a 35 MPa.

### 2.2.5.3. Propiedades y características.

Paulino Fierro y Espino Almeida (2017), en su tesis citan las siguientes propiedades más resaltantes que brinda el concreto liviano elaborado con perlitas de poliestireno expandido: Baja densidad, excelente aislamiento térmico, menor absorción de humedad, baja resistencia mecánica.

TABLA N° 04: Densidad y resistencia del concreto con perlas de poliestireno

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
200	8
250	10
300	15
350	19

Fuente: (PAULINO FIERRO & ESPINO ALMEYDA, 2017)

### 2.2.5.4 Dosificación de la mezcla

TABLA N° 05: Diseños de mezcla para concretos con poliestireno

Diseños de mezcla definitivos con agregado seco			
Dosificaciones	Espuma de concreto	Concreto liviano no estructural	Concreto estructural de baja densidad
Volumen (L)	35	35	35
Relación A/C	0.48	0.58	0.57
Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> )	270	410	410
Porcentaje de Aire (%)	45	7	4.5
Cemento (kg)	9.45	14.35	14.35
Arena (Kg)	5.93	21.92	27.26

Piedra (kg)	-	-	17.27
Poliestireno expandido (kg)	0.10	0.10	-
Agua (kg)	4.92	9.75	11.42
Sikament HE200 (ml)	114	172.2	172.2
Sikalightcrete (ml) 43,70 0,00 7,96	43.70	0.00	7.96

Fuente: (QUESADA VÍQUEZ, 2014)

Para la dosificación de la mezcla para la elaboración de la espuma de concreto, concreto liviano no estructural y concreto estructural de baja densidad elaborados con perlas de poliestireno; se tuvo como referencia al diseño siguiente:

### 2.2.5.5 Ventajas del concreto ligero

El concreto ligero, en comparación con el concreto tradicional, presenta varios beneficios que se pueden agrupar en tres perspectivas:

**Ingeniería:** Reducción de la carga muerta: La masa por unidad de fuerza es menor en concreto ligeros. Esto ofrece ventajas significativas en la reducción del peso propio de las estructuras de concreto tales como edificios de gran altura

**Sismo/Reacción Terremoto:** El concreto ligero es mejor en la absorción de ondas de choques en comparación con el concreto ordinario. El concreto ligero puede absorber fácilmente el impacto de cargas sin dañarse.

**Aislamiento:** Bazant, Z.P & Kaplan, M.F (1996), con base en las pruebas realizada por Abrams en 1979, observó que la difusividad térmica del concreto ligero es menor que la del concreto ordinario. A continuación, se entregan valores para elementos de hormigón liviano en base a experimentos realizados en España.

TABLA N° 06: Tabla de conductividad térmica v/s densidad aparente



<b>MATERIAL</b>	<b>DENSIDAD APARENTE</b> <i>kg/m<sup>3</sup></i>	<b>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b> <i>w/m °C</i>
Hormigón Armado Normal	2400	1.4
Hormigón Con Áridos Ligeros	600	0.15
Hormigón Con Áridos Ligeros	1000	0.28
Hormigón Con Áridos Ligeros	1400	0.47
Hormigón Con Áridos Silíceos	600	0.29
Hormigón Celular Con Áridos Silíceos	1000	0.58
Hormigón Celular Con Áridos Silíceos	1400	0.94

Fuente: Estudio técnico y económico para la elaboración de bloques de hormigón liviano en base a poliestireno expandido, pág. 24.

Los valores con una menor conductividad térmica, que permiten una mejor aislación, corresponden a un hormigón de menor densidad y que está compuesto por un árido más liviano que el normal.

Absorción de sonido: John (1997), sugirió que la transmisión de ruido es inversamente relacionada con la interfaz de aire del concreto. Además, el concreto ligero es enérgico - absorbente en la naturaleza, por lo que el sonido será absorbido por el material.

La flexibilidad y facilidad: Jhon (1997), encontró que el concreto ligero puede ser modificado sin dificultad, es decir con herramientas comunes puede ser utilizadas para la alteración sin perforación previa.

El concreto ligero también ofrece una serie de opciones en la fundición in situ, así como de su elaboración en una fábrica, ya que es ligero y se puede manejar fácilmente.

**Ambiental:** El concreto ligero puede reemplazar la madera en la construcción residencial, por lo tanto la deforestación puede ser reducida en gran medida, por otra parte los ingredientes posibles para concretos ligeros son principalmente cenizas volantes y áridos livianos, los residuos que se generaran después de la vida útil de la construcción serán productos mucho más ecológicos que los del concreto ordinario, ayudara a ahorrar algunas emisiones de  $CO_2$ , especialmente durante el transporte de los materiales.

#### **2.2.5.6. Desventajas.**

Además de sus ventajas, los concretos ligeros también tienen varias desventajas. Por ejemplo, por lo general son más caros que el concreto ordinario y el proceso de producción del concreto ligero necesitan mucha más atención y cuidado que la del concreto ordinario. Sin embargo, en muchos sentidos las ventajas del concreto ligero eclipsan sus desventajas. En los últimos años, los arquitectos y constructores del todo el mundo han seguido la tendencia de utilizar concreto ligero como material de construcción. Los científicos y los ingenieros también han estado investigando este tipo de concretos para diferentes aplicaciones tales como pretensados, revestimientos de pared de altura edificios y estructuras de techo.

#### **2.2.6. Característica de los materiales.**

##### **2.2.6.1. Cemento Portland tipo I (Pacasmayo S.A.A).**

El cemento es una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio. Se obtiene a partir de la fusión parcial y combinación en proporciones convenientes de materias primas que sean ricas de cal, sílice y alúmina. Estos materiales se encuentran en su estado natural bajo la forma de calizas y arcillas en canteras que se explotan.

El Cemento Portland Tipo I (Pacasmayo S.A.A) cumple con los requisitos de la norma ASTM C-150. Los requisitos químicos y físicos para los Cementos Portland Tipo I se indican en las tablas N° 07 y N° 08. Las características

químicas y físicas del cemento portland Tipo I (Pacasmayo S.A.A) se indican en las tablas N° 09 y N° 10.

TABLA N° 07: Requisitos químicos del Cemento Portland tipo I

<b>Composición química</b>	<b>Tipo I</b>
Dióxido de Silicio, (SiO <sub>2</sub> ), %, mín.	-
Óxido de Aluminio, (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %, máx.	-
Óxido Férrico, (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %, máx.	-
Óxido de Magnesio, (MgO), %, máx.	6,0
Trióxido de Azufre, (SO <sub>3</sub> ) %, máx.	
Cuando (C <sub>3</sub> A) ≤ 8%	3,0
Cuando (C <sub>3</sub> A) > 8%	3,5
Pérdida por Ignición, %, máx	3,0
Residuo Insoluble, %, máx.	0,75
Silicato Tricálcico, (C <sub>3</sub> S), %, máx.	-
Silicato Dicálcico, (C <sub>2</sub> S), %, mín.	-
Aluminato Tricálcico (C <sub>3</sub> A), %, máx.	-
Alumino-ferrito tetracálcico, más dos veces el Aluminato Tricálcico (C <sub>4</sub> AF+2(C <sub>3</sub> A)) o solución sólida, (C <sub>4</sub> AF+C <sub>2</sub> F), % máx.	-

Fuente: Requisitos norma ASTM 150

TABLA N° 08: Requisitos físicos del Cemento Portland tipo I

<b>Características</b>	<b>Tipo I</b>
Contenido de aire del mortero, % volumen,	
máx.	12
mín.	-
Finura, Superficie Específica, (m <sup>2</sup> /kg) (Métodos alternativos)	
Ensayo de Turbidímetro, mín.	160

Ensayo de Permeabilidad, mín.	280
Expansión en Autoclave, %, máx.	0,8
Resistencia, no menores que los valores mostrados para las edades indicadas a continuación, Resistencia a la compresión, MPa	
1 día	-
3 días	12,0
7 días	19,0
28 días	-
Tiempo de fraguado (Métodos alternativos)	
Ensayo de Gilmore (minutos)	
Fraguado Inicial: No menor que, mín.	60
Fraguado Final: No mayor que, mín.	600
Ensayo de Vicat (minutos)	
Tiempo de Fraguado: No menor que, mín.	45
Tiempo de Fraguado: No mayor que, mín.	375

Fuente: Requisitos norma ASTM 150

TABLA N° 09: Características químicas del Cemento Pacasmayo S.A.A

Componente	Cemento Pacasmayo tipo I (%)
Óxido de Sílice: SiO <sub>2</sub>	26.5
Óxido de Hierro: Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.5
Óxido de Aluminio: Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.5
Óxido de Calcio: CaO	62.5

Óxido de Magnesio: MgO	2.00
Óxido de Azufre: SO <sub>3</sub>	2.00
Pérd. por calcinación: P.C.	2.00
Residuo Insoluble: RI	0.75
Cal libre: CaO	---
Álcalis: Na <sub>2</sub> O	0.5
Silicato Tricálcico: C <sub>3</sub> S	50
Silicato Bicálcico: C <sub>2</sub> S	29.90
Aluminato Tricálcico: C <sub>3</sub> A	8.00
Ferroaluminato Tetracálcico: C <sub>4</sub> AlF	15

Fuente: Ficha técnica Cementos Pacasmayo S.A.A

TABLA N° 10: Características físicas de cemento Pacasmayo S.A.A

<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	<b>CEMENTO PACASMAYO S.A.A</b>
Contenido de Aire (%)	6
Expansión en Autoclave (%)	0.08
Superficie Epecífica (cm <sup>2</sup> /g)	6 440
Retenido M325 (%)	3,8
Densidad (g/ml)	2,88
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>	
Resistencia a la compresión a 3 días ( kg/cm <sup>2</sup> )	208
Resistencia a la compresión a 7 días ( kg/cm <sup>2</sup> )	264
Resistencia a la compresión a 28 días ( kg/cm <sup>2</sup> )	335

<b>TIEMPO DE FRAGUADO</b>	
Fraguado inicial (min)	124
Fraguado final (min)	264

Fuente: Ficha técnica Cementos Pacasmayo S.A.A

### **2.2.7 Agregados**

Definidos como el conjunto de partículas, sean éstos de origen natural o artificial, que puedan ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma Técnica Peruana 400.011. (Ari, 2002).

Los agregados ocupan alrededor de las 3/4 partes del volumen total del concreto, razón suficiente para el estudio de su origen a partir del tipo de la roca madre y sus principales características físicas y químicas, porque éstas influyen directamente en la calidad del concreto (Ari, 2002).

Las características físicas más importantes de los agregados son: peso unitario, peso específico, contenido de humedad, porosidad y la distribución granulométrica de las partículas, conocida como granulometría. A partir del conocimiento de la distribución granulométrica se determina el módulo de finura, para su comparación con valores de referencia establecidos en las Normas o para establecerlo en los diseños de mezcla de concreto (Chávez y Pinchi, 2015).

Según el diámetro de las partículas, los áridos se dividen en agregados grueso y fino; los cuales, cumplen funciones diferentes, pero complementarias en el concreto. Muchas veces, ambos agregados están naturalmente mezclados en canteras aluviales en el lecho de los ríos, al que se le conoce en Perú como hormigón, y en muchos de los casos se usa para preparar concreto sin el tratamiento, chancado y separación previa.

En la tabla N° 11 se presenta los requisitos para clasificar los agregados gruesos y finos según el ASTM C-33.

#### **2.2.7.1 Agregado Fino**

Material proveniente de la desintegración natural (arena natural) o artificial (manufacturada) de las rocas, que pasa al Tamiz 3/8" (9.51 mm NTP) y es retenido en el tamiz N° 200 (74µm), como se indica en la Norma Técnica Peruana 400.011. El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites establecidos en la Norma Técnica NTP 400.037, en concordancia con la Norma ASTM C-33, que recomiendan que la granulometría se encuentre dentro de los límites que se indican en la Tabla de límites granulométricos correspondiente.

TABLA N° 11. Requisitos para clasificar agregados gruesos y finos. ASTM **C-33**

N° A.S.T.M	TAMAÑO NOMINAL	% Que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
		4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°50
1	3 1/2" a 1 1/2"	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	2 1/2" a 1 1/2"			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	2" a 1"				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 5						
357	2" a N°4				100	95 a 100	35 a 70		10 a 30		0 a 5				
4	1 1/2" a 3/4"					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				
467	1 1/2" a N°4					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
5	1" a 1/2"						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	1" a 3/8"						100	90 a 100	40 a 85	10 a 15	0 a 5				
57	1" a N°4						100	95 a 100		25 a 60	0 a 10	0 a 5			
6	3/4" a 3/8"							100	90 a 10	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	3/4" a N°4							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	1/2" a N°4								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	3/8" a N°8									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	3/8" a N°16									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9^	3/8" a N°8										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: (Benites Espinoza, 2011) Tesis para optar Título de Ing. Civil. Universidad Ricardo Palma

### 2.2.7.1.1. Peso Unitario o Peso Aparente: (NTP 400.017), (ASTM C-29)

Peso que alcanza un determinado volumen unitario de agregado. Se expresa en kg/m<sup>3</sup>, y su valor depende de factores externos como el grado de compactación aplicado, el tamaño máximo del agregado en relación con el volumen del recipiente, la forma de consolidación, etc. No toma en cuenta el volumen que ocupan los vacíos del material.

Para su determinación se calibra un recipiente, determinando con exactitud el peso del agua necesaria para llenarlo a 16,7 °C. Para cualquier unidad el factor “f” se obtiene dividiendo el peso unitario del agua a 16,7 °C (1000 kg/m<sup>3</sup>) por el peso del agua a 16,7 °C necesario para llenar el recipiente (Barba y García, 2018).

$$f = 1000/W_a$$

Donde:

f = Factor de calibración del recipiente (1/ m<sup>3</sup>)

W<sub>a</sub> = Peso del agua en el recipiente (kg)

La muestra de agregado se mezcla completamente y se seca a temperatura ambiente. El peso unitario puede expresarse en dos condiciones:

#### **2.2.7.1.2. Peso Unitario Suelto (P.U.S.)**

Peso unitario que se obtiene al llenar el recipiente en una sola capa y sin ninguna presión.

$$PUS = W_s/f$$

Donde:

PUS = Peso unitario suelto (kg / m<sup>3</sup>)

F = Factor de calibración del recipiente (1 / m<sup>3</sup>)

W<sub>s</sub> = Peso de la muestra suelta (kg)

#### **2.2.7.1.3. Peso Unitario Compactado o Varillado (P.U.C.)**

Peso unitario que se obtiene cuando se ejerce presión (compactación).

$$PUC = W_s/f$$

Donde:

PUC = Peso unitario compactado (kg / m<sup>3</sup>)

f = Factor de calibración del recipiente (1 / m<sup>3</sup>)



$W_s$  = Peso de la muestra suelta (kg)

#### **2.2.7.1.4. Peso Específico y Absorción Agregados Finos: (NTP 400.022), (ASTM C-128)**

Relación entre el peso del material y su volumen. Su diferencia con el peso unitario está en que éste no toma en cuenta el volumen que ocupan los vacíos del material. El peso específico de las arenas varía entre 2.5 y 2.7 g/cm<sup>3</sup>; las arenas húmedas con igual volumen aparente, pesan menos que las secas debido a que recubren de una película de agua que la hace ocupar mayor volumen. El volumen de huecos de una arena natural oscila entre un mínimo de 26% para las arenas de granos uniformes y hasta de 55% para las de granos finos (Benites Espinoza, 2011).

Su valor se toma en cuenta para realizar la dosificación de la mezcla, así como para verificar que el agregado corresponda al material de peso normal.

Según Ari Queque (2002), en esta definición se toma en cuenta tres relaciones a usar:

#### **2.2.7.1.5. Peso Específico de Masa (PEmasa)**

Existen varios tipos de peso específico, pues la masa suele contener poros, en consecuencia, es necesario definir con mucho cuidado el significado del término peso específico.

#### **2.2.7.1.6. Peso Específico de Masa Seca (PEmse)**

Relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables

naturales del material) respecto de la masa en el aire de la misma densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gases. (Barba & García, 2018)

$$PE_{masa} = A / (V - W)$$

Donde:

A = Peso de la arena seca (g)

V = Volumen de la fiola (cm<sup>3</sup>)

W = Peso del agua (g)

#### **2.2.7.1.7. Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (PE<sub>msse</sub>):**

Relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables saturados con agua e impermeables naturales del material) respecto de la masa en el aire de la misma densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gases (Barba & García, 2018)

$$PE_{msse} = \frac{500}{(V - W)}$$

Donde:

V = Volumen de la fiola (cm<sup>3</sup>)

W = Peso del agua (g)

#### **2.2.7.1.8. Peso Específico Aparente (PE.aparente):**

Relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material respecto de la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gases. Si el material es un sólido el volumen es aquel de la porción impermeable (Barba & García, 2018).

$$PE. \text{aparaente} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

Donde:

A = Peso de la arena seca (g)

V = Volumen de la fiola (cm<sup>3</sup>)

W= Peso del agua

#### 2.2.7.1.9. Porcentaje de Absorción:

Diferencia en el peso del agregado fino superficialmente seco y el peso del material secado al horno a una temperatura entre 100 -110°C por un periodo de 24 horas, dividido entre el peso seco y todo multiplicado por 100.

Físicamente, es la capacidad del agregado fino de absorber el agua en contacto con éste. Al igual que el contenido de humedad, esta propiedad influye en la cantidad de agua para la relación agua/cemento en el concreto.

$$Porcentaje \text{ de absorcion} = \frac{(500 - A)}{A} * 100$$

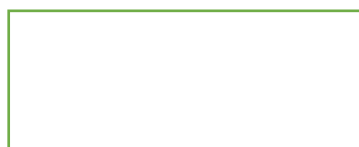
Donde:

A = Peso de la arena seca (g)

#### 2.2.7.1.10. Contenido de Humedad: (NTP 339.185), (ASTM C-566)

Diferencia entre el peso del agregado fino natural y el peso del agregado secado en horno a 100 - 110 °C por un periodo de 24 horas, multiplicado por 100.

Físicamente es la cantidad de agua que contiene el agregado fino (Barba & García, 2018).



$$H = \frac{A - B}{B} * 100$$

donde:

H = Contenido de humedad (%)

A = Peso de la muestra humedad (g)

B = Peso de la muestra seca (g)

#### 2.2.7.1.11. Granulometría del Agregado Fino (NTP 400.012)

El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas.

El agregado fino deberá estar gradado dentro de los límites indicados en la Normas ITINTEC 400.037. Es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con los valores retenidos en mallas N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100 de la serie de Tyler.

El agregado no deberá retener más de 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.

TABLA N°12: Límites granulométricos según normas NTP 400.037 y ASTM C - 33

Malla	Dimensión de la malla (mm)	Porcentaje en peso que pasa
N° 3/8"	9,52	100
N° 4	4,75	95 - 100
N° 8	2,36	80 - 100
N° 16	1,18	50 - 85
N° 30	0,60	25 - 60
N° 50	0,30	10 - 30
N° 100	0,15	2 - 10

FUENTE ASTM C - 33.

#### 2.2.7.1.12. Módulo de Finura: (Norma NTP. 400.011).

Es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados. Se calcula sumando los porcentajes acumulativos retenidos en la serie de mallas estándar:

3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y dividiendo entre 100. Para el caso de la arena también se puede calcular el módulo de fineza sumando los porcentajes (la malla de 3/8" no entrará en la suma) acumulativos que pasan a partir de la malla N°4 y restando el valor que resulte de 600 y luego dividiendo entre 100, según idea del Ing. Chileno Belisario Maldonado.

Se estima que las arenas comprendidas entre los módulos 2.3 y 2.8 producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación; y que las que se encuentran entre 2.8 y 3.1 son las más favorables para concreto de alta resistencia.

En las obras que se requiera buena textura superficial, como son los revestimientos de canales o pisos de concreto, se recomienda que la arena tenga un contenido de finos superior al 15% que pasa la malla N°50. (Abanto Castillo, pág. 28).

La granulometría del agregado fino empleado en un trabajo determinado debe ser razonablemente uniforme. Las variaciones de más o menos 0.2 en el módulo de fineza pueden ser causa de rechazo. (Rivva López, 2000, pág. 164)

Los estudios de laboratorio indican que el escurrimiento plástico del concreto aumenta con incrementos en el módulo de fineza del agregado. (Rivva López, 2000, pág. 246).

#### **2.2.7.1.13. Superficie Específica:**

Es la suma de las áreas superficiales de las partículas del agregado fino por unidad de peso; en su determinación se consideran dos supuestos: que todas las partículas son esféricas y que el tamaño medio de las partículas que pasan por un tamiz y quedan retenidas en el otro es igual al promedio de las aberturas. (Barba & García, 2018).

$$Se = \frac{0.06}{p} \sum_{i=1}^n \frac{Pi}{di}$$

Donde:

Se = Superficie específica (cm<sup>2</sup>/g)

Pi = Porcentaje retenido en el tamiz i

Di = Diámetro de las partículas retenidas en el tamiz i (cm)

P = Peso específico del agregado.

#### **2.2.7.1.14. Material que pasa la malla N° 200: (NTP 400.018), (ASTM C-117).**

Material constituido por arcilla y limo que se presenta recubriendo el agregado grueso o en forma de partículas sueltas mezclado con la arena. En el primer caso, afecta la adherencia del agregado y la pasta, en el segundo, incrementa los requerimientos de agua de mezcla; en consecuencia, el ensayo permite determinar, en porcentaje, la cantidad de materiales finos que se pueden presentar en el agregado pétreo. (Barba & García, 2018).

La ASTM C-33 establece límites para las sustancias perjudiciales; así, por ejemplo, con relación al material más fino que pasa la malla N° 200 indica que éste tiene trascendencia entre el agregado y la pasta, afectando la resistencia; por otro lado, las mezclas requieren una mayor cantidad de agua, por lo que se acostumbra limitarlos entre el 3% al 5%, aunque valores superiores hasta del orden del 7% no necesariamente causarán un efecto pernicioso notable que no pueda contrarrestarse mejorando el diseño de mezclas, bajando la relación agua/cemento y/o optimizando la granulometría (Benites Espinoza, 2011).

La Norma Técnica NTP 400.018 establece el procedimiento para determinar por vía húmeda el contenido de polvo o material que pasa por el tamiz normalizado de 75 µm (N° 200), en el agregado emplearse en la elaboración de concretos y morteros. Las partículas de arcilla y otras partículas de agregado que son dispersadas por el agua, así como los materiales solubles en agua, serán removidas del agregado durante el ensayo. (Barba & García, 2018).

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

A = % que pasa el tamiz N.º 200

P1 = Peso de la muestra (g)

P2 = Peso de la muestra lavada y secada (g)

### **2.2.7.2 Agregado Grueso.**

El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) y proviene de la desintegración natural o mecánica de la roca, que cumple con los límites establecidos en la N.T.P. 400.037. El agregado grueso se puede clasificar en piedra chancada o triturada (agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas, canto rodado o gravas) y grava (proviene de la desintegración natural de materiales pétreos, encontrándose en canteras y lechos de ríos, depositados en forma natural). Para obtener la piedra chancada, las gravas naturales deben estar limpias y libre de polvo superficial y debe cumplir con los requisitos especificados en la Norma ASTM C33, excepto en cuanto a la granulometría.

Deben cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

- Deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa.
- Teniendo en cuenta que el concreto es una piedra artificial, el agregado grueso es la materia prima para fabricar el concreto. En consecuencia, se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor, teniendo en cuenta los requisitos de colocación y resistencia.
- Hasta para la resistencia de 250kg/cm<sup>2</sup> se debe usar el mayor tamaño posible del agregado grueso; para resistencias mayores investigaciones recientes han demostrado que el menor consumo de concreto para mayor resistencia dada (eficiencia), se obtiene con agregados de menor tamaño.

### 2.2.7.2.1. **Peso Unitario o Peso Aparente: (NTP 400.017), (ASTM C-29)**

Es el peso que alcanza un determinado volumen unitario, el cual se expresa en kg/m<sup>3</sup>. Su valor depende de condiciones intrínsecas de los agregados, tales como su forma, tamaño y granulometría y contenido de humedad; también depende de factores externos como el grado de compactación aplicado, el tamaño máximo del agregado en relación con el volumen del recipiente, la forma de consolidación, etc. Los valores para agregados normales varían entre 1500 y 1700 kg/m<sup>3</sup>.

Este valor este requerido cuando se dosifica el concreto por volumen y más aún si se está trabajando con agregados ligeros o pesados en el extremo. (Barba & García, 2018) Se determinan dos (2) pesos aparentes o unitarios: Peso Unitario Compactado o varillado (PUC) y el Peso Unitario Suelto (PUS).

- **Equipo y Accesorios** (Barba & García, 2018)

Balanza sensible al 0,1 % del peso de la muestra que se va a ensayar.

Recipiente cilíndrico de metal cuya capacidad depende del tamaño máximo del agregado.

Barra compactadora, recta, de acero, lisa de 5/8" de diámetro y aproximadamente 60 cm de largo, con un extremo redondeado con forma de punta semiesférica.

Pala, badilejo y regla

- **Calibración del recipiente:**

El recipiente se calibra determinando con exactitud el peso del agua necesaria para llenarlo a 16,7 °C. Para cualquier unidad el factor "f" se obtiene dividiendo el peso unitario del agua a 16,7 °C (1000 kg/m<sup>3</sup>) por el peso del agua a 16,7 °C necesario para llenar el recipiente. (Barba & García, 2018)

$$f = 1000/Wa$$

Donde:

f = Factor de calibración del recipiente (1/ m<sup>3</sup>)

Wa = Peso del agua en el recipiente (kg)



#### **2.2.7.2.2. Peso Unitario Compactado (P.U.C.)**

Es el peso unitario que se obtiene al llenar el recipiente en una sola capa y sin ninguna presión.

$$PUS = f/Ws$$

Donde:

PUS = Peso unitario suelto (kg / m<sup>3</sup>)

f = Factor de calibración del recipiente (1 / m<sup>3</sup>)

Ws = Peso de la muestra suelta (kg)

#### **2.2.7.2.3. Peso Unitario Suelto (P.U.S.)**

Es el peso unitario que se obtiene cuando se ejerce presión (compactación).

$$PUC = f/Ws$$

Donde:

PUC = Peso unitario suelto (kg / m<sup>3</sup>)

f = Factor de calibración del recipiente (1 / m<sup>3</sup>)

Ws = Peso de la muestra suelta (kg)

#### **2.2.7.2.4. Peso Específico y Porcentaje de Absorción (NTP 400.022), (ASTM C-127).**

Es la relación a una temperatura estable de la masa de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua destilada, libre de gas. El peso específico de los agregados queda definido como, la relación entre el peso del material y su volumen. Su diferencia con el peso unitario está en que este no toma en cuenta el volumen que ocupan los vacíos del material. Su valor se toma en cuenta para realizar la dosificación de la mezcla, así como para verificar que el agregado corresponda al material de peso normal.

Según Ari (2002), en esta definición se toma en cuenta tres relaciones a usar:

Peso Específico de Masa (PEmasa): Puesto que el agregado, tanto permeable como impermeable, suele contener poros será necesario definir con mucho cuidado el significado del término peso específico, existen varios tipos de peso específico. (Barba & García, 2018)

Peso Específico de Masa Seca (PEmse): Se define como la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material) respecto de la masa en el aire de la misma densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gases. (Barba & García, 2018)

$$PEmasa = A/(B - C)$$

Donde:

A = Peso de la arena seca (g)

B = Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)

C= Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)

Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (PEmsse): Se define como la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables saturados con agua e impermeables naturales del material) respecto de la masa en el aire de la misma densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gases. (Barba & García, 2018)

$$PEmsse = \frac{B}{(B - C)}$$

Donde:

B = Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)

C= Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)

Peso Específico Aparente (PE aparente): Se define como la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material respecto de la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua

destilada libre de gases, si el material es un sólido el volumen es aquel de la porción impermeable. (Barba & García, 2018)

$$PE_{\text{aparente}} = \frac{A}{(A - C)}$$

Donde:

A = Peso de la arena seca (g)

C = Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)

Porcentaje de Absorción:

Es la cantidad de agua total que el agregado puede absorber de la condición seca a la condición saturado superficialmente seco en relación al peso de la muestra seca y es expresado en porcentaje. Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, por lo que es necesario tenerlo siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias. (Barba & García, 2018)

$$Porcentaje\ de\ absorcion = \frac{(B - A)}{A} * 100$$

Donde:

A = Peso de la arena seca (g)

B = Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)

Equipo y accesorios:

Balanza con sensibilidad de 0,5 g o menos y con capacidad de 5 kg o más.

Cesta de malla de alambre, con abertura correspondiente al tamiz N° 6 (3 mm) o menor o un recipiente de aproximadamente igual diámetro y altura con capacidad de 4000 cm<sup>3</sup> a 7000 cm<sup>3</sup>.

Envase adecuado para sumergir la cesta de alambre en agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.

Horno o estufa, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ° C ± 5 ° C.

Termómetro, con aproximación a 0,5 °C. (Barba & García, 2018)

Equipo y accesorios: (Barba & García, 2018)

Balanza con sensibilidad de 0,1 g o menos y con capacidad de 1 kg o más.

Frasco volumétrico de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad, calibrado hasta 0,10 cm<sup>3</sup> a 20 °C.

Molde cónico, metálico, de 40 mm de diámetro en la parte superior, 90 mm de diámetro en la parte inferior y 75 mm de altura.

Barra compactadora, de metal de 340 g ± 15 g de peso con un extremo de superficie plana circular de 25 mm ± 3 mm de diámetro.

Horno o estufa, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ° C ± 5 ° C.

Termómetro, con aproximación a 0,5 °C.

#### **2.2.7.2.5. Contenido de Humedad (NTP 339.185), (ASTM C-566).**

Diferencia entre el peso del agregado fino natural y el peso del agregado secado en horno a 100 - 110 °C por un periodo de 24 horas, multiplicado por 100. Físicamente es la cantidad de agua que contiene el agregado grueso. De acuerdo a su valor (en %) variará la cantidad de agua en la preparación del concreto. (Barba & García, 2018)

$$H = \frac{A - B}{B} * 100$$

Donde:

H = Contenido de humedad (%)

A = Peso de la muestra humedad (g)

B = Peso de la muestra seca (g)

#### **1.2.7.2.4. Granulometría del Agregado Grueso (NTP 400.012), (ASTM C-136).**

Se refiere a la distribución de las partículas de arena. El análisis granulométrico divide la muestra en fracciones de agregado grueso del mismo tamaño, según la abertura de los tamices utilizados. Los tamices a utilizar tienen mallas con aberturas cuadradas: 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4" y la N° 4. (Barba & García, 2018).

La Norma Técnica NTP 400.037 en concordancia con la Norma ASTM C-33, establece que la granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 1/2" y no más del 6% del agregado que pasa

la malla 1/4". El ensayo de granulometría de acuerdo con la Norma Técnica NTP 400.012, concordante con la Norma ASTM C-136, señala que el peso de la muestra debe ser el que corresponda al tamaño máximo de las partículas, según se establece en la tabla de cantidad mínima de la muestra del agregado grueso o global (Benites Espinoza, 2011).

A continuación, en la tabla se presenta la cantidad mínima de la muestra del agregado grueso o global.

TABLA N°13 Cantidad mínima de la muestra del agregado grueso o global

<b>Tamaño Máximo Nominal Aberturas cuadradas mm(pulg)</b>	<b>Cantidad de la muestra de Ensayo Mínimo kg (lb)</b>
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.9 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: (Benites Espinoza, 2011)

En la definición de la granulometría de los agregados gruesos existen los siguientes conceptos:

#### **2.2.7.2.6. Tamaño Máximo**

Tamaño máximo se toma en cuenta para seleccionar el tamaño del agregado según las condiciones de geometría del encofrado y el diámetro del refuerzo de

acero y la separación de varillas; y, corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso.

#### **2.2.7.2.7. Tamaño Nominal Máximo del agregado**

Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada, que produce el primer retenido. Así si  $TM = 1''$  entonces el  $TNM = 3/4''$ . En el presente trabajo de investigación se empleará un tamaño máximo  $TM = 3/8''$  entonces el tamaño nominal máximo será  $TNM = 1/2''$  (Barba & García, 2018).

#### **2.2.7.2.8. Módulo de Finura: (NTP 400.011).**

Índice aproximado que representa el tamaño promedio de las partículas de la muestra de agregado grueso; se usa para controlar la uniformidad de los agregados. Se calcula como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 dividido entre 100. (Barba & García, 2018).

#### **2.2.7.2.9. Superficie Específica**

Suma de las áreas superficiales de las partículas del agregado grueso por unidad de peso; en su determinación se consideran dos supuestos: que todas las partículas son esféricas y que el tamaño medio de las partículas que pasan por un tamiz y quedan retenidas en el otro es igual al promedio de las aberturas. Se expresa en  $cm^2/gr$ . (Barba & García, 2018).

$$Se = \frac{0.06}{p} \sum_{i=1}^n \frac{Pi}{di}$$

Donde:

Se = Superficie específica ( $cm^2/g$ )

Pi = Porcentaje retenido en el tamiz i

di = Diámetro de las partículas retenidas en el tamiz i (cm)

P = Peso específico del agregado.

### **2.2.7.2.10. Material que pasa la malla N° 200: (NTP 400.018), (ASTM C-117).**

Puede estar presente en el agregado en forma de recubrimiento superficial que interfiere en la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, afectando la resistencia y la durabilidad del concreto. Por otro lado, las mezclas requieren una mayor cantidad de agua, por lo que se le limita a 1 %. (Barba & García, 2018).

La norma ASTM C117 prescribe tamizar el material húmedo en un tamiz N° 200. En el tamizado en húmedo el agregado se coloca en agua y se agita de modo vigoroso para que los finos se desprendan y queden en suspensión. Por medio de la decantación y el tamizado se puede eliminar todo el material cuyo tamaño sea menor que el del tamiz de muestreo N° 200.

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

A = % que pasa el tamiz N.º 200

P1 = Peso de la muestra (g)

P2 = Peso de la muestra lavada y secada

### **2.2.8. Agregado Global.**

Viene a ser el material compuesto de la mezcla en proporciones determinadas del agregado grueso y agregado fino, que cumplan las especificaciones técnicas (Ari, 2002).

#### **2.2.8.1. Granulometría.**

En cuanto a la granulometría, es la gradación total del agregado participante en la mezcla lo más importante porque es de lo más común que al evaluarse esta propiedad individualmente en la piedra y la arena no entren en los Husos granulométricos propuestos por las Normas ASTM C-33; sin embargo, mezclándolos en proporciones adecuadas suministren una distribución de partículas que entre en el Huso requerido. La misma norma ASTM C-33 admite esto, al indicar que se podrán emplear agregados que no cumplan los requisitos,

si se demuestra que con ellos se obtienen concretos que satisfacen las especificaciones técnicas del proyecto que se trate Ari (2002).

Ari (2002) indica que para evaluar las granulometrías totales se hace uso de las curvas teóricas y Husos totales, probando proporciones de mezcla de agregados que se acerquen lo más posible a ellas. Nos sugiere remitirnos a los Husos DIM 1045 para el agregado global. En dicho Huso en el área comprendida entre el Huso “A” y “B” nos proporciona un concreto de mejor trabajabilidad; y, cuando está entre el Huso “B” y “C” se obtendría un concreto de trabajabilidad aceptable (Ari,2002).

TABLA N° 14. Huso DIM 1045 – Agregado Global.

Tamiz	Abertura (mm)	Agregado Global		
		A	B	C
1 1/2”	32.0	100	100	100
3/4”	16.0	62.0	80.0	89.0
1/2”	8.0	38.0	62.0	77.0
N° 4	4.0	23.0	47.0	65.0
N° 8	2.0	14.0	37.0	53.0
N° 16	1.0	8.0	28.0	42.0
N° 50	0.25	2.0	8.0	15.0

Fuente: Ari (2002). Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. UNI

### 2.2.8.2. Peso Unitario Compactado del Agregado Global

Para la determinación de la óptima relación entre el agregado fino y agregado grueso uno de los métodos a usar constituye el método de la “compacidad”, que consiste en la mezcla de diferentes proporciones de los agregados, buscándose el mejor acomodo de las partículas. Esta combinación, de máxima densidad, generará un volumen mínimo de vacíos, necesitando menos cantidad de pasta de cemento cuando los agregados formen parte de la mezcla de concreto.



Para determinar la máxima compacidad o el mejor acomodo de los agregados en la mezcla de concreto, se determina el máximo peso unitario compactado del agregado global; para cuyo caso, según refiere Ari (2002), se prueban diferentes mezclas en peso de agregado fino y agregado grueso, por ejemplo, en el caso específico señalado de Ari (2002), la proporción ideal se encontró probando en los siguientes porcentajes:

TABLA N°15. Porcentajes de agregados fino y grueso para agregado global sugerido

%	%	%	%	%	%	%	%	%
Arena	44	46	48	50	52	54	58	62
%	%	%	%	%	%	%	%	%
Piedra	56	54	52	50	48	46	42	38

Fuente: Ari (2002). Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. UNI

Para los porcentajes mencionados. Finalmente se grafica el Peso Unitario Compactado del Agregado Global a partir del % de arena interviniente (% Arena interviniente en el Agregado Global vs PUC).

Para los agregados trabajados en la investigación de Ari (2002), se observa que para el 52% de arena y 48% de piedra se obtiene el mayor Peso Unitario Compactado de la combinación de agregados; resultados que, solo como ejemplo, se muestran a continuación:

TABLA N°16: Peso unitario compactado de agregado global según % de arena

% Arena interviniente en agregado global	Peso Unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )
44	2027.06
46	2048.25
48	2069.44
50	2102.40
52	2118.88
54	2100.05
58	2069.44

62	2047.07
----	---------

Fuente: Ari (2002). Tesis para optar el título de Ing. Civil. UNI

### **2.2.9. Poliestireno expandido**

Es un material plástico espumado, derivado del poliestireno y utilizado en el sector del envase y la construcción.

Las aplicaciones del poliestireno expandido (EPS) en la construcción, se da como material de aligeramiento o como aislante térmico en edificación y en obra civil; también en fachadas, cubiertas, molduras, suelo, etc. En Europa, los productos aislantes térmicos están regulados por el Reglamento de Productos de la Construcción, en el cual la norma EN 13163 es la que regula la medición de sus propiedades para el mercado CE del producto. Los valores de conductividad térmica oscilan entre 0,041 y 0,029 W/mK, dependiendo del tipo de producto y del fabricante.

La fabricación del material se realiza partiendo de compuestos de poliestireno en forma de perlitas que contienen un agente expansor (habitualmente pentano). Después de una pre expansión, las perlitas se mantienen en silos de reposo y posteriormente son conducidas hacia máquinas de moldeo. Dentro de dichas máquinas se aplica energía térmica para que el agente expansor que contienen las perlitas se caliente y estas aumenten su volumen, a la vez que el polímero se plastifica. Durante dicho proceso, el material se adapta a la forma de los moldes que lo contienen.

En construcción, lo usual es comercializarlo en planchas de distintos grosores y densidades. También es habitual el uso de bovedillas de poliestireno expandido para la realización de forjados con mayor grado de aislamiento térmico.

### **2.2.10. Agua**

El agua es el elemento indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, por lo tanto, este componente debe cumplir

ciertos requisitos para llevar a cabo su función en la combinación química, sin ocasionar problemas colaterales si tiene ciertas sustancias que pueden dañar al concreto. (Barba & García, 2018)

El agua de mezcla en el concreto tiene como funciones principales: reaccionar con el cemento para hidratarlo, actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto y procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse. (Barba & García, 2018)

Por lo tanto, la cantidad de agua que interviene en la mezcla de concreto es normalmente por razones de trabajabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento.

El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de éstas, que ocasionan reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento. Los efectos más desfavorables que pueden esperarse de aguas de mezcla con impurezas son: retardo en el endurecimiento, reducción de la resistencia, manchas en el concreto endurecido, eflorescencias, contribución a la corrosión del acero, cambios volumétricos, etc. (Barba & García, 2018).

Existe evidencia experimental que el empleo de aguas con contenidos individuales de cloruros, sulfatos y carbonatos sobre las 5000 p.p.m. ocasiona reducción de resistencias hasta del orden del 30% con relación a concretos con agua pura. (Barba & García, 2018).

Los carbonatos y bicarbonatos de Sodio y Potasio pueden acelerar o retardar el fraguado cuando la suma de sales disueltas tiene concentraciones sobre 1000 p.p.m., por lo que es recomendable en estos casos hacer pruebas de tiempo de fraguado. Hay evidencias que en estas condiciones pueden incrementarse las reacciones álcali-sílice en los agregados. (Barba & García, 2018).

TABLA N° 17: Límite permisible del agua

Descripción	Límite permisible
Sólidos en suspensión	5000 p.p.m. máximo
Materia orgánica	3 p.p.m. máximo
Alcalinidad ( $\text{NaHCO}_3$ )	1000 p.p.m. máximo
Sulfato ( Ión $\text{SO}_4$ )	600 p.p.m. máximo
Cloruros ( Ión Cl )	1000 p.p.m. máximo
pH	5 a 8

Fuente: NTP 339.088

### 2.2.11. Aditivos

Los aditivos para concreto son componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsiones.

Los aditivos a ser empleados en las mezclas de concreto deberán cumplir con las exigencias de la norma NTP 334.089.

Los aditivos incorporadores de aire deberán cumplir con los requisitos de la norma NTP 334.089 o de la norma ASTM C260 y los aditivos reductores de agua; retardadores; acelerantes; deberán cumplir con los requisitos de la Norma NTP 334.088; o de la ASTM C 1017. (RIVVA LÓPEZ, 2013).

#### 2.2.11.1. Aditivo reductor de agua de alto rango y superplastificante

NEOPLAST 8500 HP es un aditivo para concreto especialmente desarrollado para incrementar el tiempo de trabajabilidad, reductor de agua de alto rango sin retardo y optimizador de cemento en mezclas de concreto, está diseñado para ser empleado en climas cálidos y fríos.

Aplicaciones principales:

Concreto auto compactado.

Concreto de baja relaciones agua/cemento.

Concreto de alta resistencia.  
Concreto fluido de alto asentamiento.  
Concreto reforzado.

Características y Beneficios:

Produce concretos fluidos sin retardo.  
Permite que el concreto o mortero sea transportado a largas distancias.  
Reduce más de 45% del agua de amasado.  
Reduce la segregación y exudación en el concreto plástico.  
Reduce las fisuras y permeabilidad en el concreto endurecido.

#### **2.2.12. Diseño de Mezcla.**

Proceso de selección más adecuado, conveniente y económico de sus componentes como son: agua, cemento, agregados (fino y grueso) y aditivos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado fresco tenga trabajabilidad y consistencia adecuada, además en estado endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador o indicado en los requerimientos del proyecto y especificaciones técnicas.

La selección de los diferentes materiales que componen la mezcla de concreto y de la proporción de cada uno de ellos debe ser siempre el resultado de un acuerdo razonable entre la economía y el cumplimiento de los requisitos que debe satisfacer el concreto tanto en estado fresco como endurecido. (Rivva López, 1992, pág. 9).

Actualmente no existe un método específico de dosificación para este tipo de concreto ligero, los métodos que se utilizan para morteros y concretos convencionales no son apropiados, sin embargo, la guía ACI 213R-14, menciona que un pre-requisito para la selección de las proporciones de la mezcla es conocer las propiedades de los materiales constituyentes, es decir que los

valores de la proporción de mezcla dependerán mucho del agregado ligero que se utilice como constituyente de mezcla.

Asimismo, la guía ACI 213R-14 menciona que algunas propiedades del concreto ligero a base de poliestireno expandido como: la del esfuerzo a la compresión, el módulo de elasticidad y densidad se calculan como las de un concreto convencional.

Por otro lado, la Guía ACI 212.2 – 98: “Práctica estándar para la selección de las proporciones de Concreto estructural liviano”, establece tres métodos para determinar las proporciones de mezcla, los cuales se base en agregados ligeros con tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ " lo que no se ajusta al tamaño del poliestireno expandido utilizado (05 mm aprox.).

Para proporcionar los ingredientes en una mezcla de concreto se debe seguir un procedimiento, para lo cual se han sugerido muchos métodos dentro de los cuales se encuentran los analíticos, experimentales, semianalíticos y empíricos.

El método empleado para el diseño de las mezclas de concreto para el presente proyecto es el método americano ACI (American Concrete Institute) – Volúmenes absolutos, el que se fundamenta en el principio básico de la relación agua / cemento desarrollado por Abraham, que consiste en seguir una serie de pasos para determinar la cantidad de cada material en peso y volumen, para 1m<sup>3</sup> de concreto.

El diseño de mezclas incluye, entre otras, la determinación del peso unitario (densidad), rendimiento de materiales y contenido de aire.

Se basa en ciertos criterios en los que intervienen la relación arena / piedra y las relaciones agua/cemento; siendo necesario contar con información de las propiedades de los agregados fino y gruesos siguientes: granulometría, peso específico, contenido de humedad, porcentaje de absorción, peso unitario suelto, peso unitario compactado, módulo de finura, tamaño nominal máximo (del agregado grueso).

Según el método ACI, el proporcionamiento de los agregados se hace teniendo en cuenta que éstos cumplen las especificaciones granulométricas, tamaño máximo y calidad de los agregados finos y gruesos, excepto los agregados livianos y pesados, y otros requisitos de la Norma ASTM C – 33.

Los criterios de dosificación de mezclas de concreto incluyen los siguientes pasos:

- Elección del asentamiento.
- Elegir el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Estimar el contenido de aire.
- Estimar la cantidad de agua de mezclado
- Estimar la cantidad de agua / cemento (a/c)
- Calcular la cantidad de cemento
- Verificar si los agregados cumplen las recomendaciones granulométricas.
- Estimación del contenido de grava.
- Estimar el contenido de agregado fino.
- Ajustar la cantidad de agua por el contenido de humedad del agregado.
- Ajustar las mezclas de prueba.

En el presente trabajo de investigación, para el caso de la mezcla experimental en la que se le sustituirá la piedra chancada por perlas de poliestireno, se prestará especial atención al diseño ya que podría ser que haya que añadirle algún aditivo a las perlas de poliestiereno o hacerle una capa con mortero a fin de garantizar la cohesión entre el EPS y la pasta de concreto, de lo contrario se podría presentar la segregación (los componentes no están en suspensión dentro de la mezcla sino que están separados entre sí).

#### **2.2.12.1. Método de Mezclado.**

El proceso de mezclado de los diseños será el siguiente:

- Se humedecerá la mezcladora, de capacidad de 40 litros.

- El agua de mezclado se dividirá en dos partes: la primera parte, en un litro y la segunda parte, el agua restante que será añadida al inicio de la mezcla.
- Luego, se incorporará la piedra y en seguida se le dará un número de cinco revoluciones a la mezcladora.
- Seguidamente se añadirá la arena con el cemento, se dejará mezclando los materiales durante un minuto.
- Después del periodo de mezcla de los materiales, se observará la condición de la mezcla resultante, como ésta se encuentra en una condición seca y se le irá añadiendo el agua restante del litro de agua separada inicialmente, incorporándola poco a poco durante el periodo de mezclado.
- El periodo de mezclado comprenderá 5 minutos para todos los diseños de mezcla.

### **2.2.13. Ensayo del concreto en estado fresco.**

#### **2.2.13.1. Consistencia (Asentamiento: (NTP 339.035), (ASTM C - 143).**

En los concretos bien proporcionados, el contenido de agua necesario para producir un asentamiento determinado depende de varios factores; se requiere más agua con agregados de forma angular y textura rugosa, reduciéndose su contenido al incrementarse el tamaño máximo del agregado. El ensayo para medir la consistencia se denomina ensayo slump y consiste en consolidar una muestra de concreto fresco en un molde troncocónico (Cono de Abrams), midiendo el asentamiento de la mezcla luego de desmoldado (ARI, 2002).

Definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada. Capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, manteniéndose homogéneo con un mínimo de vacíos. (Abanto Castillo, pág. 47)

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD	MÉTODO DE COMPACTACIÓN
--------------	-------	----------------	------------------------



TABLA  
N°18:  
Clases  
de

Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera, chuseado
Fluida	> 5"	Muy trabajable	Chuseado

mezcla según su asentamiento

Fuente: Abanto Castillo (s.f.)

### 2.2.13.2. Exudación (NTP 339.077)

La exudación es el acto mediante el cual es agua contenida dentro de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colocado. Se origina con la incapacidad de los componentes sólidos de retener toda el agua cuando se asientan. La exudación puede expresarse cuantitativamente como el asentamiento total (reducción de altura) por unidad de altura del concreto. Tanto la capacidad de exudación como la proporción de exudación puede determinarse experimentalmente mediante la prueba ASTM C 232-71 (reprobada en 1977). La exudación del concreto termina cuando la pasta ha endurecido lo suficiente. (A.M & J.J, 1998).

$$C = \frac{w}{W} * S$$

$$Exudación(\%) = \frac{V}{C} * 100$$

Donde:

- C = Masa del agua en la muestra de ensayo, en Lts.
- w = Agua efectiva en Lts.
- W = Cantidad total de materiales, en Kg
- S = Peso del concreto en Kg
- V = Volumen final exudado en Lts

### **2.2.13.3. Temperatura del concreto (NTP 339.184), (ASTM C1064).**

Este ensayo cumple con la finalidad de examinar la temperatura del concreto recién mezclado, puede usarse para verificar que dicho concreto satisfaga requerimientos específicos de temperatura; es importante realizar este control debido a que condicionan la velocidad del proceso de endurecimiento inicial del concreto, la cual es influenciada por la temperatura ambiente y calor específico de los materiales constituyentes; a mayor temperatura durante el muestreo mayor será la resistencia inicial y también el efecto de contracción, disminuyendo posiblemente la resistencia a largo plazo.

El ensayo consiste en colocar un dispositivo de medición de temperatura en la muestra de concreto de tal modo que este rodeado de mezcla por todos sus lados (al menos 3" y lejos del recipiente que lo contiene), el tiempo mínimo que debe estar introducido el dispositivo medidor es de 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice. Se debe efectuar este ensayo dentro de los 5 minutos de tomada la muestra.

### **2.2.14. Ensayo del Concreto Endurecido.**

#### **2.2.14.1. Resistencia a la Compresión: (NTP 339.034)**

La resistencia del concreto es definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad. La resistencia a la compresión es una de las más importantes propiedades, del concreto endurecido, siendo la que generalmente se emplea para la aceptación o rechazo del mismo.

Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto. Objeto: La presente Norma establece el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas, moldeadas con hormigón

o de testigos diamantinos extraídos de concreto endurecido. Se limita a concretos que tienen un peso unitario mayor de 800 kg/cm<sup>2</sup>.

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial en compresión a los moldes cilíndricos o corazones en una velocidad tal que esté dentro del rango especificado antes que la falla ocurra. El esfuerzo a la compresión de la muestra está calculado por el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra.

$$R_c = \frac{4G}{\pi d^2}$$

donde:

$R_c$  =Es la resistencia de rotura a la compresión, en kilogramos por centímetro cuadrado.

$G$  =Es la carga máxima de rotura, en kilogramos.

$d$  =Es el diámetro de la probeta cilíndrica, en centímetros.

#### **2.2.14.2. Módulo de Elasticidad Estático (Norma ASTM C 469-94).**

El módulo elástico es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente. Definida como la relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión menores que el límite de proporcionalidad del concreto. Se emplea en el cálculo de la rigidez de los elementos estructurales.

El concreto no es un material elástico, no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama de carga vs deformación en compresión; sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un “Modulo de Elasticidad Estático” del Concreto, mediante una recta tangente a la parte inicial del

diagrama o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido, que normalmente es un porcentaje de la tensión última.

Los valores de E normalmente oscilan entre 280 000 a 350 000 kg/cm<sup>2</sup> y están en relación directa con la resistencia en compresión del concreto y a la relación agua/cemento, pero siempre las mezclas más ricas en cemento tienen modelos de elasticidad mayores y también mayor capacidad de deformación.

En general a mayor resistencia del concreto y mayor densidad se tiende a obtener mayor módulo de elasticidad, sin embargo, dependiendo de los componentes y dosificación del concreto o mortero los valores pueden diferir de manera apreciable (QUINBAY, 2012)

Entre las características que influyen en la respuesta sísmica de una estructura están: el peso volumétrico del concreto, el módulo de elasticidad (que es determinante en la rigidez lateral de la estructura y en su periodo natural de vibración), la forma de la curva esfuerzo - deformación del concreto, la ductilidad del comportamiento y la forma de los lazos de histéresis (define el amortiguamiento inelástico con que puede contarse) (BAZAN & MELI, 2001).

$$E = (S_2 - S_1) / (\varepsilon_2 - 0.000050)$$

donde:

E= Módulo de elasticidad secante, MPa [psi]

S<sub>2</sub>= Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última o de rotura.

S<sub>1</sub>= Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal,  $\varepsilon_1$ , de 50 millonésimas, MPa [psi]

E<sub>2</sub>= Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S<sub>2</sub>.

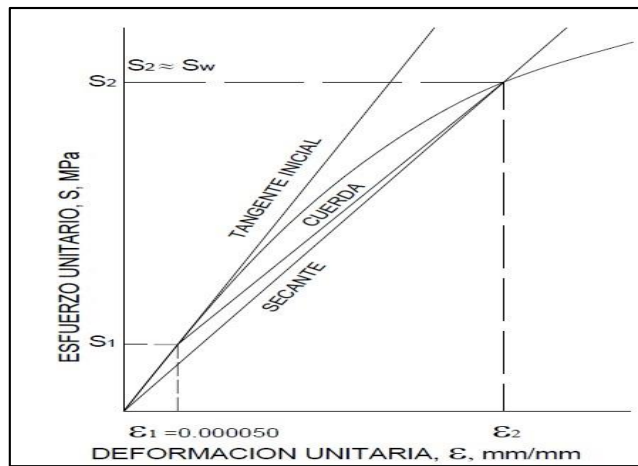


Gráfico N° 06 Curva Esfuerzo – Deformación para el concreto  
Fuente: Quiroz Crespo et al. (2006)

Entre las características que influyen en la respuesta sísmica de una estructura están: el peso volumétrico del concreto, el módulo de elasticidad (que es determinante en la rigidez lateral de la estructura y en su periodo natural de vibración), la forma de la curva esfuerzo - deformación del concreto, la ductilidad del comportamiento y la forma de los lazos de histéresis (define el amortiguamiento inelástico con que puede contarse) (Bazán y Meli, 2001).

### 2.3. Definición de términos básicos

**Tamaño Máximo:** El tamaño máximo se toma en cuenta para seleccionar el tamaño del agregado según las condiciones de geometría del encofrado y el diámetro del refuerzo de acero y la separación de varillas; y, corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso.

**Tamaño Nominal Máximo del agregado:** Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada, que produce el primer retenido. Así si  $TM = 1''$  entonces el  $TNM = 3/4''$ . En el presente trabajo de investigación se empleará un tamaño máximo  $TM = 3/8''$  entonces el tamaño nominal máximo será  $TNM = 1/2''$

**Módulo de Finura: (NTP 400.011):** Índice aproximado que representa el tamaño promedio de las partículas de la muestra de agregado grueso; se usa para controlar la uniformidad de los agregados. Se calcula como la suma de los

porcentajes acumulados retenidos en las mallas: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 dividido entre 100.

**Superficie Específica:** Suma de las áreas superficiales de las partículas del agregado grueso por unidad de peso; en su determinación se consideran dos supuestos: que todas las partículas son esféricas y que el tamaño medio de las partículas que pasan por un tamiz y quedan retenidas en el otro es igual al promedio de las aberturas. Se expresa en cm<sup>2</sup>/gr.

**Cono de Abrams:** Instrumento metálico que se utiliza en el ensayo que se le realiza al hormigón en su estado fresco para medir su consistencia (fluidez o plasticidad del hormigón fresco).

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño de Investigación

En el presente trabajo de investigación se ha determinado que es de tipo cuasi-experimental, porque ésta, se ha basado en primer lugar en la determinación y estudio de las propiedades físico – mecánico del concreto liviano no estructural sustituyendo el agregado grueso por perlas de poliestireno y su características tanto en estado fresco como en estado endurecido, todo esto con la finalidad de comprobar si están en el rango apropiado para su uso como concreto liviano no estructural según la clasificación de “Portland Cement Association”

La investigación es del tipo proyectiva porque se orientó a elaborar una propuesta en el uso de los bloques de Concreto liviano no estructural sustituyendo el agregado grueso por perlas de poliestireno expandido

### 3.2. Diseño de la investigación

$(GE_{(1)}):$	$X1_{(Muestra\ 60\%)}$	$O1_{(7\ DIAS)}$	$X1_{(Muestra\ 60\%)}$	$O1_{(14DIAS)}$	$X1_{(Muestra\ 60\%)}$	$O1_{(28\ DIAS)}$
$(GE_{(2)}):$	$X1_{(Muestra\ 80\%)}$	$O1_{(7\ DIAS)}$	$X1_{(Muestra\ 80\%)}$	$O1_{(14DIAS)}$	$X1_{(Muestra\ 80\%)}$	$O1_{(28\ DIAS)}$
$(GE_{(3)}):$	$X1_{(Muestra\ 100\%)}$	$O1_{(7\ DIAS)}$	$X1_{(Muestra\ 100\%)}$	$O1_{(14DIAS)}$	$X1_{(Muestra\ 100\%)}$	$O1_{(28\ DIAS)}$
$(GC_{(4)}):$		$O1_{(7\ DIAS)}$		$O2_{(14DIAS)}$		$O3_{(28\ DIAS)}$

**Dónde:** **GE=** Grupo experimental  
**GC=** Grupo control.

**X1=** Muestra con % de polietireno.  
**O1, O2, O3=** Medición

### **3.3. Población y muestra**

Como la población es pequeña, se elige una muestra no probabilística, de tal manera que la población también representa a la muestra ( $N=n$ ).

### **3.4. Técnicas, Instrumentos, Procedimientos de Recolección de Datos**

La técnica de recolección de datos se seleccionó en atención a las características de la población, en este caso se optó por la técnica de observación directa, la cual consistió en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso estudiado, tomando los resultados de los ensayos de laboratorio.

### **3.5. Procedimientos de recolección de datos**

La recolección, tratamiento y análisis de los datos se realizó haciendo uso de la estadística descriptiva.

Se trabajó con el paquete estadístico de Microsoft Office Excel 2013.

Los resultados se presentan en Tablas, Gráficos, utilizando valores discretos y porcentajes; a partir de los cuales se elaboraron algunos comentarios en función de los objetivos e Hipótesis.

### **3.6. Variables**

#### **3.6.1. Identificación de las Variables**

Variable Independiente (X): Caracterización física de agregados y perlas de poliestireno.

Variable Dependiente (Y): Propiedades físicas y mecánicas del concreto liviano no estructural.



### 3.6.2. Operacionalización de la variable

TABLA N°19: Operacionalización de las variables

Variables	Indicadores	Índices
<p><b>X:</b></p> <p><b>X1:</b> Caracterización física de agregados y perlas de poliestireno.</p> <p><b>X2:</b> Dosificación de la mezcla elaborada con agregado fino del río Cumbaza y sustitución proporcional por perlas de poliestireno expandido del agregado grueso de las canteras del ámbito del distrito de Buenos Aires, provincia de Picota – San Martín.</p>	<p>Granulometría</p> <p>Módulo de fineza de los agregados.</p> <p>Módulo de fineza de las perlas de poliestireno expandido.</p> <p>% de sustitución de agregado grueso por perlas de poliestireno expandido.</p> <p>Diseño de mezclas.</p>	<p>Huso</p> <p>Valor de módulo de fineza de los agregados.</p> <p>Valor de módulo de fineza de las perlas.</p> <p>% de sustitución de agregado grueso por perlas.</p> <p>Dosificación de componentes de concreto liviano</p>
<p><b>Y1:</b> Propiedades físicas del concreto liviano no estructural.</p> <p><b>Y2:</b> Propiedades mecánicas del concreto liviano no estructural</p>	<p>Densidad</p> <p>Esfuerzo a la compresión.</p> <p>Módulo de elasticidad</p>	<p>Valores de densidad {kg/cm<sup>3</sup>}</p> <p>Valores de esfuerzo a la compresión [kg/cm<sup>2</sup>]</p> <p>Valores de módulo de elasticidad [kg/cm<sup>2</sup>]</p>

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

## 4.1. Caracterización de los agregados

### 4.1.1. Agregado Fino.

El agregado fino corresponde a las canteras del río “Cumbaza” ubicada en el sector San Antonio de Cumbaza, provincia y región San Martín.

#### 4.1.1.1. Peso unitario suelto (PUS)

Este ensayo se realizó conforme la norma ASTM C-29 y la NTP 400.017. En la tabla N° 20 se presentan los resultados de peso unitario suelto.

TABLA N°20: Peso unitario suelto del agregado fino

<b>PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO SEGÚN NORMA ASTM C - 29</b>			
DESCRIPCION	1	2	3
PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr)	25935	26075	26260
PESO DE MOLDE (gr)	5885	5885	5885
PESO DE MUESTRA (gr)	20050	20190	20375
VOLUMEN DE MOLDE (cm <sup>3</sup> )	14020	14020	14020
PESO UNITARIO (gr /cm <sup>3</sup> )	1.430	1.440	1.453
PROMEDIO PESO UNITARIO (Kg /cm <sup>3</sup> )	<b>1,441</b>		
VACIOS EN EL AGRAGADO (%)	<b>46.03</b>		

Fuente: Elaboración propia (2019)

Resultado: El promedio del Peso unitario suelto del agregado fino es 1441 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.1.2. Peso unitario compactado (PUC)

El ensayo de peso unitario compactado se realizó conforme la norma ASTM C-29 y la NTP 400.017. En la tabla N° 21 se presentan los resultados del ensayo de peso unitario compactado.

TABLA N°21: Peso unitario compactado del agregado fino

<b>PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO SEGÚN NORMA ASTM C - 29</b>			
<b>UBICACIÓN</b>	<b>CANtera DEL RIO CUMBAZA</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr)	27665	27765	27825
PESO DE MOLDE (gr)	5885	5885	5885
PESO DE MUESTRA (gr)	21780	21880	21940
VOLUMEN DE MOLDE (cm <sup>3</sup> )	14020	14020	14020
PESO UNITARIO (gr /cm <sup>3</sup> )	1.553	1.561	1.565
PROMEDIO PESO UNITARIO (Kg /cm <sup>3</sup> )	<b>1,560</b>		
VACIOS EN EL AGRAGADO (%)	<b>41.57</b>		

Fuente: Elaboración propia (2019)

Resultado: El promedio del Peso unitario compactado del agregado fino es 1560 kg/m<sup>3</sup>.

#### **4.1.1.3. Peso específico y absorción**

El ensayo de peso específico y absorción se realizó conforme la norma ASTM C-128 y la NTP 400.022. En la tabla N° 22 se pueden observar los resultados de las pruebas realizadas:

TABLA N° 22: Gravedad específica y absorción del agregado fino

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO					
SEGÚN NORMA ASTM C - 128					
DESCRIPCIÓN		1	2	3	PROMEDIO
	Peso de Mat. Seco en Estufa + Frasco	666.00	667.00	666.00	
	Peso del Frasco	169.00	169.00	169.00	
<b>A</b>	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en aire)	500.00	500.00	500.00	
<b>B</b>	Peso Frasco + H2O	666.00	666.00	666.00	
<b>C</b>	Peso Frasco + H2O + A = (A+B)	1166.00	1166.00	1166.00	
<b>D</b>	Peso Mat.+H2O en el Frasco	977.00	978.00	977.00	
<b>E</b>	Vol. Masa + vol. de Vacío = (C-D)	189.00	188.00	189.00	
<b>F</b>	Peso Mat. Seco en Estufa (105°C)	497.00	498.00	497.00	
<b>G</b>	Vol. Masa = (E-A-F)	186.00	186.00	186.00	
Peso Específico de Masa (Base Seca) = (F/E)		2.630	2.649	2.630	2.64
Peso Específico de Masa (S.S.S) = (A/E)		2.646	2.660	2.646	2.65
Peso Específico de Aparente = (F/G)		2.672	2.677	2.672	2.67
% de Absorción = ((A-F)/F)*100		0.60	0.40	0.60	0.54

Fuente: Elaboración propia (2019)

Resultado: Peso específico del agregado fino es 2.64 gr/cm<sup>3</sup> y el Porcentaje de absorción del agregado fino es 0.54%.

#### 4.1.1.4. Análisis granulométrico y módulo de fineza

Este ensayo se realizó según la norma ASTM C-136 y NTP 400.012. En la tabla N° 23 se pueden observar los resultados de las pruebas realizadas:

TABLA N°23: Análisis granulométrico del agregado fino.

Tamices ASTM	Abertura mm.	Peso Retenido	%Retenido		% Que Pasa	OBSERVACIONES
			Parcial	Acumulado		
3"	76.000					
2 1/2"	63.300					L. Líquido : N.P.
2"	50.600					L. Plástico : N.P.
1 1/2"	38.100					I. Plástico : N.P.
1"	25.400					Clas. SUCS : SP
3/4"	19.050					Clas. AASHTO : A-3 (0)
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					<b>Peso de Muestra en Gr.</b>
1/4"	6.350					Muestra Seca : <b>300.00</b>
N°04	4.760	0.00			100.00	Muestra Lavada: <b>296.51</b>

N°08	2.380	0.02	0.01	0.01	99.99	
N°16	1.190	0.60	0.20	0.21	99.79	
N°30	0.590	4.80	1.60	1.81	98.19	
N°50	0.297	72.38	24.13	25.93	74.07	<b>MF : 1.95</b>
N°100	0.149	190.64	63.55	89.48	10.52	
N°200	0.074	28.07	9.36	98.84	1.16	
Pasa N°200		3.49	1.16			

Fuente: Elaboración propia (2019)

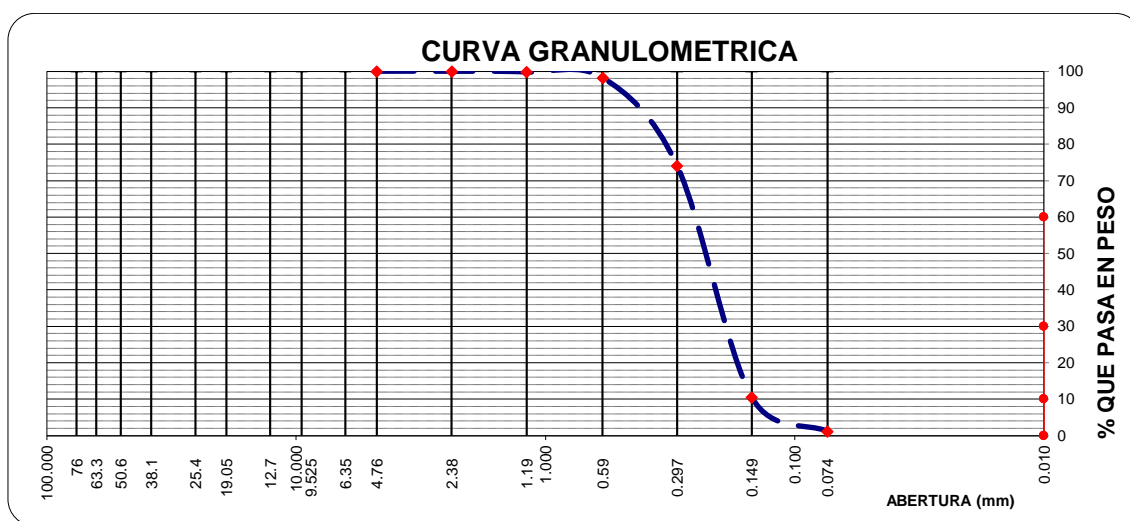


Gráfico N°07: Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Elaboración propia (2019)

Resultado: El Promedio del Módulo de fineza del agregado fino es 1.95

#### 4.1.1.5. Material que pasa el tamiz N°200

Este ensayo se desarrolló según la norma ASTM C-117 y NTP 400.018. En la tabla N°24 se pueden observar los resultados de las pruebas realizadas:

TABLA N°24: Material que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino

<b>CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N°200 ASTM C - 117</b>			
<b>ASTM C - 117</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
PESO DE MUESTRA + TARA (gr)	425.00	427.00	440.00

PESO DE MUESTRA LAVADA + TARA (gr)	415.00	418.00	426.00
PESO DE TARA (gr)	125.00	127.00	140.00
% QUE PASA LA MALLA N°200	3.33	3.00	4.67
<b>PROMEDIO DE % QUE PASA MALLA N°200</b>	<b>3.67</b>		

Fuente: Elaboración propia (2019)

Resultado: El promedio del porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino es 3.67%

#### 4.1.2. Agregado Grueso

El agregado grueso corresponde a las canteras del río “Huallaga” ubicada en el distrito de Buenos Aires, provincia de Picota y región de San Martín.

##### 4.1.2.1. Peso Unitario suelto (PUS)

El ensayo de peso unitario suelto se realizó conforme la norma ASTM C-29 y la NTP 400.017. En la tabla N° 25 se observan los resultados de las pruebas realizadas:

TABLA N°25: Peso unitario suelto del agregado fino

<b>PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO SEGÚN NORMA ASTM C - 29</b>				
<b>UBICACIÓN</b>	<b>CANTERA DE BUENOS AIRES</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr)	24100	24180	24360	
PESO DE MOLDE (gr)	5885	5885	5885	
PESO DE MUESTRA (gr)	18215	18295	18475	
VOLUMEN DE MOLDE (cm <sup>3</sup> )	14020	14020	14020	
PESO UNITARIO (gr /cm <sup>3</sup> )	1.299	1.305	1.318	
PROMEDIO PESO UNITARIO (Kg /cm <sup>3</sup> )	<b>1,307</b>			
VACIOS EN EL AGRAGADO (%)	<b>51.59</b>			

Elaboración propia (2019)

Resultado: El promedio del Peso unitario suelto del agregado grueso es 1307 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.2.2. Peso unitario compactado (PUC)

Este ensayo se realizó conforme la norma ASTM C-29 y la NTP 400.017. En la Tabla N° 26 se presentan los resultados de las pruebas realizadas:

TABLA N°26: Peso unitario compactado del agregado grueso

<b>PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO SEGÚN NORMA ASTM C - 29</b>			
<b>UBICACIÓN</b>	<b>CANtera BUENOS AIRES</b>		
DESCRIPCION	1	2	3
PESO DE MUESTRA + MOLDE (gr)	26050	25880	25685
PESO DE MOLDE (gr)	5885	5885	5885
PESO DE MUESTRA (gr)	20165	19995	19800
VOLUMEN DE MOLDE (cm <sup>3</sup> )	14020	14020	14020
PESO UNITARIO (gr /cm <sup>3</sup> )	1.438	1.426	1.412
PROMEDIO PESO UNITARIO (Kg /cm <sup>3</sup> )	<b>1,425</b>		
VACIOS EN EL AGRAGADO (%)	<b>47.22</b>		

Fuente: Elaboración propia (2019)

Resultado: El promedio del Peso unitario compactado del agregado grueso es 1425 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.2.3. Peso específico y absorción

El ensayo de peso específico y absorción se realizó conforme la norma ASTM C-128 y la NTP 400.022. En la tabla N° 27 se presentan los resultados de las pruebas realizadas:

TABLA N°27: Peso específico y absorción del agregado grueso

N° DE ENSAYOS		1	2	PROMEDIO
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco+malla (en aire)	2663.00	2667.00	
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seco+malla (en agua)	1822.00	1827.00	
C	Peso de malla (en aire)	663.00	663.00	
D	Peso de malla (en agua)	568.00	568.00	
E	Peso de Mat. Seco en Estufa + malla (aire)	2656.00	2658.00	
F	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en aire) = (A-C)	2000.00	2004.00	
G	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en agua)=(B-D)	1254.00	1259.00	
H	Vol. Masa + Vol. de Vacío = (E-F)	746.00	745.00	
I	Peso de Mat. Seco en Estufa (105°C) = E-C	1993.00	1995.00	
J	Vol. Masa = (H-(F-I))	739.00	736.00	
Peso Específico de Masa (Base Seca)= (I/H)		2.672	2.678	<b>2.67</b>
Peso Específico de Masa (S.S.S)= (F/H)		2.681	2.690	<b>2.69</b>
Peso Específico Aparente= (I/J)		2.697	2.711	<b>2.70</b>
% de Absorción = ((F-I)/I)*100		0.35	0.45	<b>0.40</b>

Fuente: Elaboración propia (2019)

Resultado: El Peso específico del agregado grueso es 2.67 gr/cm<sup>3</sup> y el Porcentaje de absorción del agregado grueso es 0.40%.

#### 4.1.2.4. Análisis granulométrico y módulo de fineza.

El análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso se realizó según la norma ASTM C-136, NTP 400.011 y NTP 400.012. En la Tabla N° 28 se pueden observar los resultados de las pruebas realizadas:

TABLA N°28: Análisis granulométrico del agregado Grueso

Tamices ASTM	Abertura mm.	Peso Retenido	%Retenido		% Que Pasa	OBSERVACIONES
			Parcial	Acumulado		
3"	76.000					L. Líquido : N.P.
2 1/2"	63.300					



2"	50.600					L. Plástico : N.P.
1 1/2"	38.100					I. Plástico : N.P.
1"	25.400				100.00	Clas. SUCS : GP
3/4"	19.050	26.15	1.31	1.31	98.69	Clas. AASHTO : A-1-a (0)
1/2"	12.700	649.06	32.45	33.76	66.24	<b>Peso de Muestra en Gr.</b> Muestra Seca : <b>2000.00</b> Muestra Lavada: <b>1988.99</b>  <b>MF : 6.75</b>  <b>TMN : 1/2"</b>
3/8"	9.525	798.62	39.93	73.69	26.31	
1/4"	6.350	449.82	22.49	96.18	3.82	
N°04	4.760	65.34	3.27	99.45	0.55	
N°08	2.380	0.00	0.00	99.45	0.55	
N°16	1.190	0.00	0.00	99.45	0.55	
N°30	0.590	0.00	0.00	99.45	0.55	
N°50	0.297	0.00	0.00	99.45	0.55	
N°100	0.149	0.00	0.00	99.45	0.55	
N°200	0.074	0.00	0.00	99.45	0.55	
Pasa N°200		11.01	0.55			

Fuente: Elaboración propia (2019)

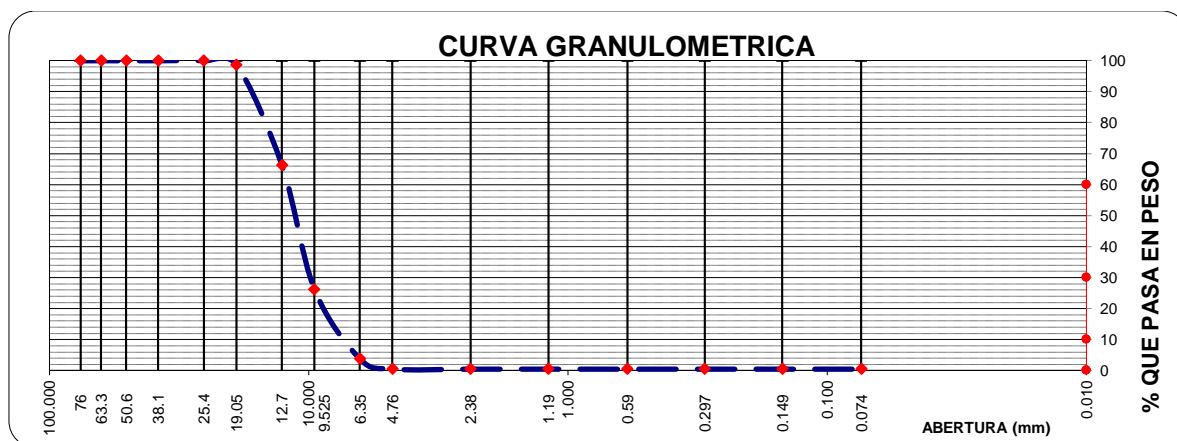


Gráfico N°08: Curva granulométrica del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Resultado: El Promedio del Módulo de fineza del agregado grueso es 6.75.

#### 4.1.2.5. Material que pasa el tamiz N° 200.

El ensayo de cantidad de material grueso que pasa por el tamiz N° 200 se desarrolló según la norma ASTM C-117. En el presente cuadro se pueden observar los resultados de las pruebas realizadas:

TABLA N°29: Material que pasa el tamiz N° 200 del agregado fino.

<b>CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N°200 ASTM C - 117</b>		
<b>ASTM C - 117</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
PESO DE MUESTRA + TARA (gr)	2231.00	2238.00
PESO DE MUESTRA LAVADA + TARA (gr)	2226.00	2232.00
PESO DE TARA (gr)	231.00	238.00
% QUE PASA LA MALLA N°200	0.25	0.30
<b>PROMEDIO DE % QUE PASA MALLA N°200</b>	<b>0.28</b>	

Fuente: Elaboración propia (2019)

Resultado: El promedio del porcentaje que pasa la malla N° 200 del agregado fino es 0.28%.

#### **4.1.3. Perlas de poliestireno**

Se tomó como datos los ensayos de la perla de poliestireno de la tesis de: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018”, con el motivo de efectuar los diseños de mezcla. La perla de poliestireno fue proveída por la empresa Ecopor, ubicada en la carretera Santa Clara, calle las Malvinas, 100m antes de llegar a la localidad de Rumococha.

Gráfico N° 09: Imágenes del área de producción de empresa ECOPOR



Fuente: Tesis: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018”

#### 4.1.3.1. Peso unitario suelto (PUS).

El ensayo de peso unitario suelto se realizó conforme la norma ASTM C-29 y la NTP 400.017. En la tabla N° 30 se pueden observar los resultados de las pruebas realizadas:

TABLA N°30. Peso unitario suelto de la perla de poliestireno.

<b>PESO UNITARIO SUELTO DE LA PERLA DE POLIESTIRENO SEGÚN NORMA ASTM C - 29</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
<b>(A)</b> PESO DE MUESTRA + MOLDE (g)	6254	6251	6252
<b>(B)</b> PESO DE MOLDE (g)	6229	6229	6229
<b>(C=A-B)</b> PESO DE MUESTRA (g)	25	22	23
<b>(D)</b> VOLUMEN DE MOLDE (cm3)	2114	2114	2114
<b>(C/D)</b> PESO UNITARIO (g/cm3)	0.012	0.010	0.011
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO (kg/m3)</b>	<b>11</b>		

Fuente: Tesis: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018”.

Resultado: El promedio del Peso unitario suelto de la perla de poliestireno es 11 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.3.2. Peso unitario compactado (PUC).

El ensayo de peso unitario compactado se realizó conforme la norma ASTM C-29 y la NTP 400.017. En la tabla N° 31 se presentan los resultados.

TABLA N°31: Peso unitario compactado de la perla de poliestireno

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA PERLA DE POLIESTIRENO SEGÚN NORMA ASTM C - 29</b>			
<b>DESCRIPCION</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
<b>(A)</b> PESO DE MUESTRA + MOLDE (g)	6254	6251	6252
<b>(B)</b> PESO DE MOLDE (g)	6229	6229	6229
<b>(C=A-B)</b> PESO DE MUESTRA (g)	25	22	23
<b>(D)</b> VOLUMEN DE MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2114	2114	2114
<b>(C/D)</b> PESO UNITARIO (g/cm <sup>3</sup> )	0.012	0.010	0.011
<b>PROMEDIO PESO UNITARIO (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>11</b>		

Fuente: Tesis: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018”

Resultado: El promedio del Peso unitario compactado de la perla de poliestireno es 11 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.3.3. Peso específico y absorción.

El ensayo de peso específico y absorción se realizó conforme la norma ASTM C-128 y la NTP 400.022. En el presente cuadro se pueden observar los resultados de las pruebas realizadas:

TABLA N°32: Peso específico y absorción de la perla de poliestireno

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LA PERLA DE POLIESTIRENO					
SEGÚN NORMA ASTM C - 128					
DESCRIPCION		M1	M2	M3	PROMEDIO
A	PESO MAT. SAT. SUP. SECO (EN AIRE)	5.11	5.12	5.03	-
B	PESO FRASCO + H2O	922.81	922.91	922.81	-
C	PESO FRASCO + H2O + A = (A+B)	927.92	928.03	927.84	-
D	PESO MAT. + H2O EN EL FRASCO	632.11	623.00	626.87	-
E	VOL. MASA + VOL. DE VACIO = (C-D)	295.81	305.03	300.97	-
F	PESO MAT. SECO EN ESTUFA (105°C)	5.11	5.12	5.03	-
G	VOL. MASA = (E-A+F)	295.81	305.03	300.97	-
Peso Especifico de Masa (Base Seca) = (F/E)		0.017	0.017	0.017	<b>0.017</b>
Peso Especifico de Masa (S.S.S) = (A/E)		0.017	0.017	0.017	<b>0.017</b>
Peso Especifico Aparente = (F/G)		0.017	0.017	0.017	<b>0.017</b>
% de Absorcion = ((A-F)/F)*100		0.00	0.00	0.00	<b>0.000</b>

Fuente: Tesis: "Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018".

Resultado: El Peso específico de la perla de poliestireno es 0.017 gr/cm<sup>3</sup> y el Porcentaje de absorción de la perla de poliestireno es 0.00%.

#### 4.1.3.4. Análisis granulométrico.

S realizó según la norma ASTM C-136 y NTP 400.012. En la Tabla N° 33 se presentan los resultados de las pruebas realizadas:

TABLA N°33: Análisis granulométrico de la muestra N°01 de poliestireno

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MUESTRA N° 01)					
SEGÚN NORMA ASTM C - 136					
Tamices ASTM	Abertura mm.	Peso Retenido	%Retenido		% Que Pasa
			Parcial	Acumulado	
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	2.63	18.46	18.46	81.54
N°04	4.760	11.62	81.54	100.00	0.00
N°08	2.380	0.00	0.00	100.00	0.00

Fuente: Tesis: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018”.

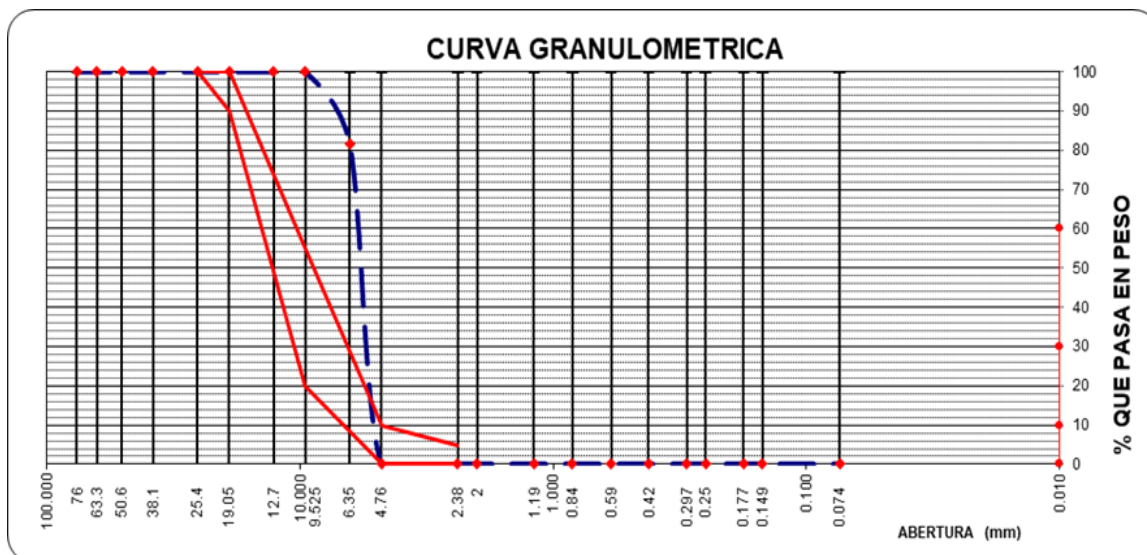


Gráfico N° 10: Curva granulométrica muestra N° 01 perla de poliestireno

Fuente: Tesis: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018.

TABLA N°34: Análisis granulométrico de la muestra N°02 de poliestireno

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MUESTRA N° 02)					
SEGÚN NORMA ASTM C - 136					
Tamices ASTM	Abertura mm.	Peso Retenido	%Retenido		%Que Pasa
			Parcial	Acumulado	
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	2.69	18.63	18.63	81.37
N°04	4.760	11.75	81.37	100.00	0.00
N°08	2.380	0.00	0.00	100.00	0.00

Fuente: Tesis: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018”.

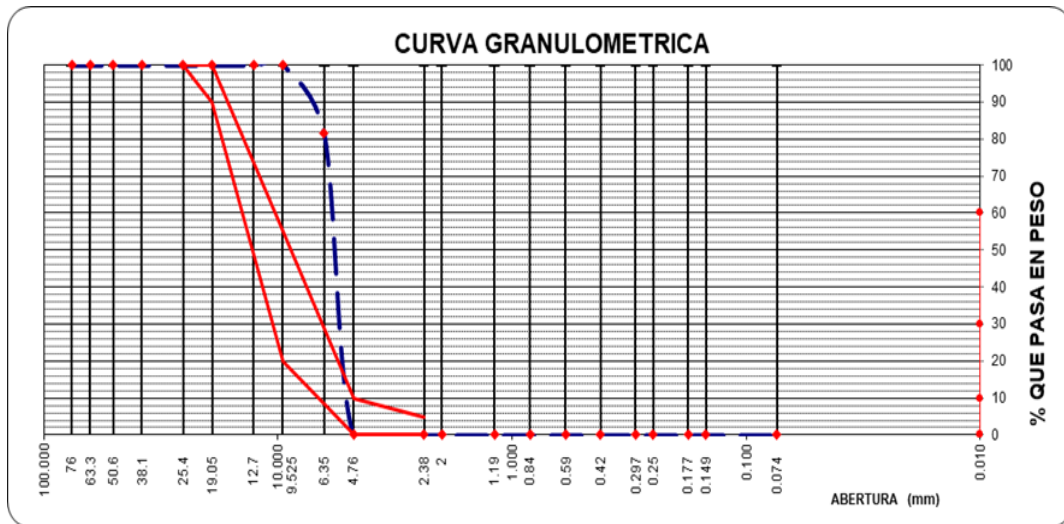


Gráfico N°11: Curva granulométrica muestra N°02 perla de poliestireno

Fuente: Tesis: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018”.

TABLA N°35: Análisis granulométrico de la muestra N°03 de poliestireno

<b>ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MUESTRA N° 03)</b>					
<b>SEGÚN NORMA ASTM C - 136</b>					
Tamices ASTM	Abertura mm.	Peso Retenido	%Retenido		%Que Pasa
			Parcial	Acumulado	
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	3.10	17.87	17.87	82.13
N°04	4.760	14.25	82.13	100.00	0.00
N°08	2.380	0.00	0.00	100.00	0.00

Fuente: Tesis: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018”.

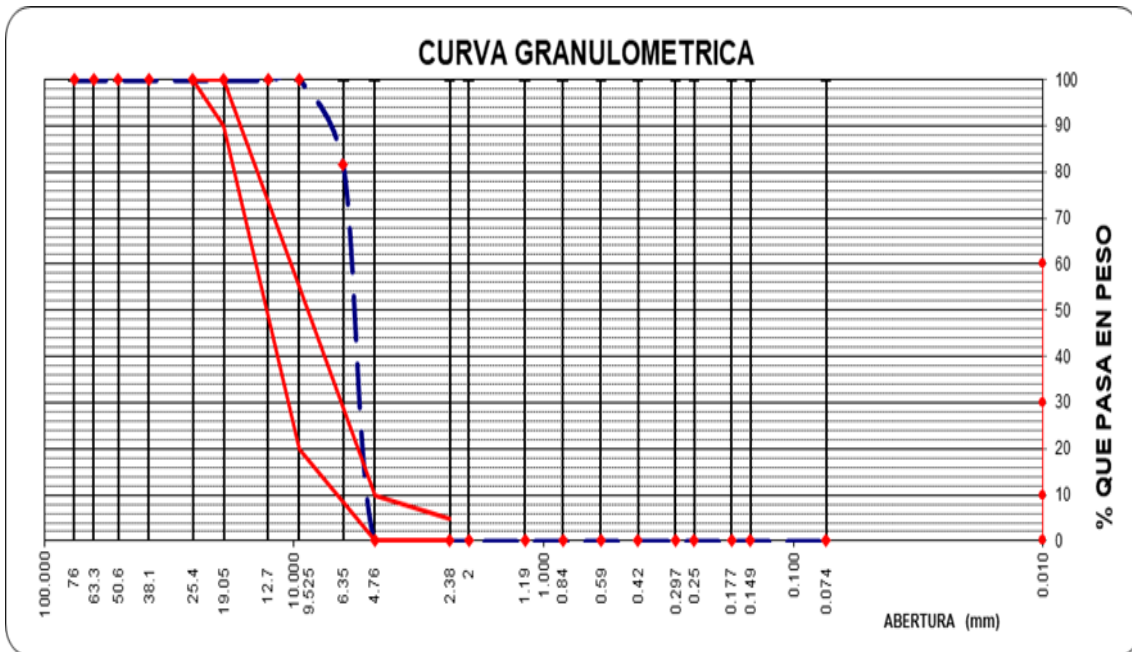


Gráfico N°12 Curva granulométrica muestra N°03 perla de poliestireno

Fuente: Tesis: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018”.

**4.1.3.5. Módulo de fineza.**

Este ensayo se realizó conforme la norma ASTM C-33 y NTP 400.011. En la tabla N° 36 se presentan los resultados:

TABLA N°36: Módulo de fineza de la perla de poliestireno.



MODULO DE FINEZA POR TAMIZADO						
SEGÚN NORMA ASTM C - 33						
Tamices ASTM	M1		M2		M3	
	%Retenido	%Ret.acum	%Retenido	%Ret.acum	%Retenido	%Ret.acum
N°04	81.54	100.00	81.37	100.00	82.13	100.00
N°08	-	100.00	-	100.00	-	100.00
N°16	-	100.00	-	100.00	-	100.00
N°30	-	100.00	-	100.00	-	100.00
N°50	-	100.00	-	100.00	-	100.00
N°100	-	100.00	-	100.00	-	100.00
TOTAL		6.00		6.00	-	6.00
MOD. FINEZA	6.00		6.00		6.00	
PROMEDIO	<b>6.00</b>					

Fuente: Tesis: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018”.

Resultado: El Módulo de fineza promedio de la perla de poliestireno es 6.00.

#### 4.1.3.6. Superficie específica

Se realizó conforme la norma NTP 400.012. En la tabla N° 37 se pueden observar los resultados correspondientes:

TABLA N°37: Superficie específica muestra N° 01 del poliestireno

<b>SUPERFICIE ESPECIFICA M1</b>				
<b>Tamices ASTM</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Pi (%)</b>	<b>Pi / di</b>
N°3/8"	9.525	1.11	0	0
N°1/4"	6.350	0.7936	18.46	23.26
N°04	4.760	0.5550	81.54	146.93
N°08	2.380	0.3555	0.00	0.00
N°16	1.190	0.1770	0.00	0.00
N°30	0.590	0.0885	0.00	0.00
FONDO	0.074	0.0111	0.00	0.00
TOTAL				170.19

Fuente: Tesis: "Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018".

$$Se = \frac{0.06}{0.017} \times 170.19 = 603.36 \text{ cm}^2/\text{g}$$

TABLA N°38: Superficie específica muestra N° 02 del poliestireno

<b>SUPERFICIE ESPECIFICA M2</b>				
<b>Tamices ASTM</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>Di (cm)</b>	<b>Pi (%)</b>	<b>Pi / di</b>
N°3/8"	9.525	1.11	0	0
N°1/4"	6.350	0.7936	18.63	23.48
N°04	4.760	0.5550	81.37	146.61
N°08	2.380	0.3555	0.00	0.00
N°16	1.190	0.1770	0.00	0.00
N°30	0.590	0.0885	0.00	0.00
FONDO	0.074	0.0111	0.00	0.00
TOTAL				170.09

Fuente: Tesis: "Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018".

$$Se = \frac{0.06}{0.017} \times 170.09 = 603.01 \text{ cm}^2/\text{g}$$

TABLA N°39: Superficie específica muestra N°03 del poliestireno

SUPERFICIE ESPECIFICA M3				
Tamices ASTM	ABERTURA (mm)	Di (cm)	Pi (%)	Pi / di
N°3/8"	9.525	1.11	0	0
N°1/4"	6.350	0.7936	17.87	22.52
N°04	4.760	0.5550	82.13	147.98
N°08	2.380	0.3555	0.00	0.00
N°16	1.190	0.1770	0.00	0.00
N°30	0.590	0.0885	0.00	0.00
FONDO	0.074	0.0111	0.00	0.00
TOTAL				170.50

Fuente: Tesis: "Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018".

$$Se = \frac{0.06}{0.017} \times 170.50 = 604.47 \text{ cm}^2/\text{g}$$

#### 4.1.3.7. Material que pasa el tamiz N° 200

El ensayo se desarrolló según la norma ASTM C-117 y NTP 400.018. En la tabla N° 40 se presentan los resultados

TABLA N°40: Material que pasa por el tamiz N°200 perla de poliestireno

MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N°200 SEGÚN NORMA ASTM C - 117			
N° DE ENSAYOS	M1	M2	M3
(A) PESO DE MUESTRA + TARA (g)	203.28	207.56	204.47
(B) PESO DE MUESTRA LAVADA + TARA (g)	203.28	207.56	204.47
(C) PESO DE TARA (g)	158.13	164.34	162.74
(D=A-C) PESO DE MUESTRA (g)	45.15	43.22	41.73
(E=B-C) PESO DE MUESTRA LAVADA (g)	45.15	43.22	41.73
(F=D-E) PESO DEL MATERIAL FINO (g)	0.00	0.00	0.00
(F/D*100%) % QUE PASA LA MALLA N°200	0.00	0.00	0.00
<b>PROMEDIO DE % QUE PASA MALLA N°200</b>	<b>0.00</b>		

Fuente: Tesis: "Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018".

Resultado: El promedio del porcentaje promedio de perlas que pasa la malla N°200 es 0.00%

## 4.2. Fase de diseño y prueba

### 4.2.1. Diseño de Mezclas

Se realizaron 3 diseños de mezcla con relación agua/cemento 0.55, utilizando aditivo superplastificante (Neoplast 8500 HP) de la marca QSI, para poder comparar sus propiedades físicas y mecánicas; el diseño de mezcla cumple con la Categorización de los concretos livianos propuestas por el “Portland Cement Association” como se muestra en el Tabla N° 38. Se incluirá el peso unitario, rendimiento y aire atrapado según norma ASTM C-138 y respectivas correcciones.

TABLA N°41: Categorización de los concretos livianos

<b>CATEGORIZACIÓN DE LOS CONCRETOS LIVIANOS</b>			
<b>Diseño Meta</b>	<b>Densidad (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistencia a la Compresión (Mpa)</b>	<b>Categoría</b>
A	Menor a 1000	Menor a 5	Espuma de concreto
B	1000-1800	5 - 17	Concreto liviano no estructural
C	1800-2100	Mayor a 17	Concreto estructural de baja densidad

Fuente: Elaboración con conceptos de “Portland Cement Association”, obtenido de la Tesis: “Estudio Exploratorio en Diseño de Mezclas del Concreto Cemento-Arena Liviano Empleando Perlitas de Poliestireno, Arcilla Expandida y Agregado Fino de la cantera Irina Gabriela, Distrito San Juan Bautista, Iquitos 2018”.

#### 4.2.1.1. Concreto liviano no estructural.

Se planteó 3 ensayos de diseño de mezcla utilizando materiales como cemento, agregado fino, agregado grueso, perlas de poliestireno y aditivo.

TABLA N°42: Diseño de concreto liviano no estructural con el 60% de perlas de poliestireno – CL1

IPO:		CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL - CL01	
		DISEÑO CONCRETO LIVIANO CON 60% DE PERLAS DE POLIESTIRENO	
		MATERIALES	
		CEMENTO	ADITIVO

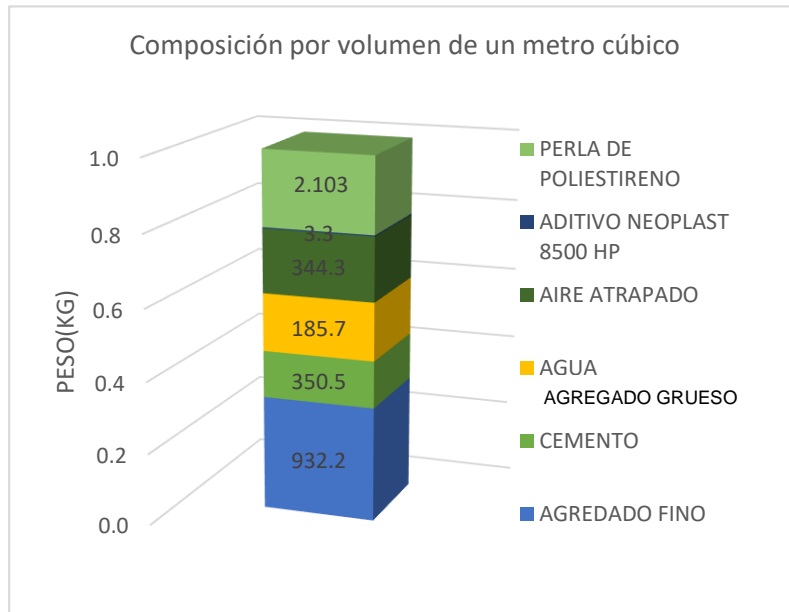
PACASMAYO EXTRA FORTE			NEOPLAST 8500 HP		
Peso Específico	3.15	gr/cm <sup>3</sup>	Densidad	1.1	kg/L
Peso Unitario	1500	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-
DATOS DE LABORATORIO					
DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	PERLA DE POLIESTIRENO		
P. Especifico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.64	2.67	0.017		
% De Absorción (%)	0.54	0.40	0.00		
P. Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1441	1307	11.00		
P. Unit. Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1560	1425	11.00		
Cantidad de perlas (%)			60		
Módulo de Fineza	1.95	6.75	6.00		
Tamaño Max. Nominal	---	1/2"	1/4"		
Humedad para Diseño (%)	1.21	0.10	0.00		
DATOS PARA DOSIFICACIÓN					
Estimación de Agua Relación Agua/Cemento			192.8	lts/cm <sup>3</sup>	
Factor			0.55		
Cemento	192.8/0.55=350.5 /42.5 =		8.25	Blts/m <sup>3</sup>	
Contenido de Aire Atrapado			2.50		
Proporción de Agregados	52% A. Fino	48% A. Grueso y P. Poliestireno			
Relación Aditivo/Cemento			0.006		
Cantidad de Aditivo	350.5 X 0.006 =		2.103	kg/m <sup>3</sup>	
CÁLCULOS DE VOLÚMENES ABSOLUTO DE LA MEZCLA					
Cemento	350.5/3150 =		0.111	m <sup>3</sup>	
Agua (Agua-Volumen aditivos)	192.8/1000 =		0.191	m <sup>3</sup>	
Aire Atrapado	2.5/100 =		0.025	m <sup>3</sup>	
Aditivo	2.1/1100		0.002		
			<u>0.329</u>	m <sup>3</sup>	
Volumen Absol. De Agregados	1.000 - 0.3291 =		0.671	m <sup>3</sup>	
Volumen Absoluto de la arena	52%		0.349		

Volumen abs. De la piedra y perla	48%				0.322	
Volumen abs. De la piedra					0.129	
Volumen abs. De la Perla					0.193	
Peso del Agregado Fino		0.349 x 2640	=		921.1	kg
Peso del Agregado Grueso		0.129 x 2670	=		343.9	kg
Peso de Perla de Poliestireno		0.193 x 17	=		3.3	kg
<b>VALORES DE DISEÑO</b>						
Cemento			:		350.5	kg/m3
Agua			:		190.90	kg/m3
Agregado Fino			:		921.1	kg/m3
Agregado Grueso			:		343.9	kg/m3
Perla de Poliestireno			:		3.3	kg/m3
Aditivo			:		2.103	kg/m3
<b>CORRECCIÓN POR HUMEAD DE LOS AGREGADOS</b>						
Peso Húmedo A. Fino		921.05	x	1.0121	=	932.2 kg/m3
Peso Húmedo A. Grueso		343.95	x	1.0010	=	344.3 kg/m3
Humedad Superf. Del A. Fino		1.21	-	0.54	=	0.67 %
Humedad Superf. Del A. Grueso		0.10	-	0.40	=	-0.30 %
Aporte de Humedad A. Fino		921.05	x	0.0067	=	6.17 Lts
Aporte de Humedad A. Grueso		343.95	x	0.0030	=	-1.03 Lts
						5.14 Lts
Agua Efectiva del Diseño		190.89	-	5.15	=	185.70 Lts
<b>VALORES DE DISEÑO CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>						
Cemento			:		350.5	kg/m3
Agua			:		185.7	lts/m3
Agregado Fino			:		932.2	kg/m3
Agregado Grueso			:		344.3	kg/m3
Perla			:		3.3	kg/m3
Aditivo			:		2.103	kg/m3

		<b>PROPORCIÓN EN PESO (KG)</b>				
Cemento	:	350.5/350.5	=	1.00		
Agregado Fino	:	935/350.5	=	2.66		
Agregado Grueso	:	346.9/350.5	=	0.98		
Agua	:	0.53X42.50	=	22.53		
Perla de Poliestireno	:		=	3.3		
<b>DOSIFICACIÓN EN PESO</b>		Perla	C	AF	AG	Agua
		3.3	1	2.66	0.98	22.53
lts/m3						
		<b>PROPORCIÓN EN VOLUMEN (P3)</b>				
Peso Unitario Suelto Húmedo A. Fino	:					1458.44 kg/m3
Peso Unitario Suelto Húmedo A. Grueso	:					1308.31 kg/m3
Peso Unitario Suelto del Poliestireno	:					11.000 kg/m3
<b>DOSIFICACIÓN DE VOLUMEN</b>		Perla	C	AF	AG	Agua
		3.3	1	2.72	1.13	22.95
lts/m3						

Fuente: Elaboración propia (2019).

Gráfico N°13 Composición por peso de un metro cúbico con 60% de perlas de poliestireno.



Fuente: Elaboración propia (2019).

TABLA N°43: Diseño de concreto liviano no estructural con el 80% de perlas de poliestireno – CL02

IPO: CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL - CL02					
DISEÑO CONCRETO LIVIANO CON 80% DE PERLAS DE POLIESTIRENO					
MATERIALES					
CEMENTO			ADITIVO		
PACASMAYO EXTRA FORTE			NEOPLAST 8500 HP		
Peso Específico	3.15	gr/cm3	Densidad	1.1	kg/L
Peso Unitario	1500	kg/m3	-	-	-
DATOS DE LABORATORIO					
DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	PERLA DE POLIESTIRENO		
P. Especifico (gr/cm3)	2.64	2.67	0.017		
% De Absorción (%)	0.54	0.40	0.00		
P. Unitario Suelto (kg/m3)	1441	1307	11.00		
P. Unit. Compactado (kg/m3)	1560	1425	11.00		
Cantidad de perlas (%)			80		
Módulo de Fineza	1.95	6.75	6.00		
Tamaño Max. Nominal	---	1/2"	1/4"		
Humedad para Diseño (%)	1.21	0.10	0.00		
DATOS PARA DOSIFICACIÓN					



Estimación de Agua			192.8	lts/cm <sup>3</sup>
Relación Agua/Cemento			0.55	
Factor		$192.8/0.55=350.$		
Cemento	5	$/42.5 =$	8.25	Bls/m <sup>3</sup>
Contenido de Aire Atrapado			2.50	
Proporción de Agregados	52% A. Fino	48% A. Grueso y P. Poliestireno		
Relación Aditivo/Cemento			0.006	
Cantidad de Aditivo	$350.5 \times 0.006 =$		2.103	kg/m <sup>3</sup>
<b>CÁLCULOS DE VOLÚMENES ABSOLUTO DE LA MEZCLA</b>				
Cemento		$350.5/3150 =$	0.111	m <sup>3</sup>
Agua (Agua-Volumen aditivos)		$192.8/1000 =$	0.191	m <sup>3</sup>
Aire Atrapado		$2.5/100 =$	0.025	m <sup>3</sup>
Aditivo		$2.1/1100 =$	0.002	
			<u>0.329</u>	m <sup>3</sup>
Volumen Absol. De Agregados		$1.000 - 0.3291 =$	0.671	m <sup>3</sup>
Volumen Absoluto de la arena	52%		0.349	
Volumen abs. De la piedra y perla	48%		0.322	
Volumen abs. De la piedra			0.064	
Volumen abs. De la Perla			0.258	
Peso del Agregado Fino		$0.349 \times 2640 =$	921.1	kg
Peso del Agregado Grueso		$0.064 \times 2670 =$	172	kg
Peso de Perla de Poliestireno		$0.258 \times 17 =$	4.4	kg
<b>VALORES DE DISEÑO</b>				
Cemento		:	350.5	kg/m <sup>3</sup>
Agua		:	190.90	kg/m <sup>3</sup>
Agregado Fino		:	921.1	kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso		:	172.0	kg/m <sup>3</sup>
Perla de Poliestireno		:	4.4	kg/m <sup>3</sup>
Aditivo		:	2.103	kg/m <sup>3</sup>
<b>CORRECCIÓN POR HUMEAD DE LOS AGREGADOS</b>				
Peso Húmedo A. Fino	921.05	$\times$	$\frac{1.012}{1} =$	932.2 kg/m <sup>3</sup>

Peso Húmedo A. Grueso	171.97	x	1.001 0	=	172.1	kg/m3
Humedad Superf. Del A. Fino	1.21	-	0.54	=	0.67	%
Humedad Superf. Del A. Grueso	0.10	-	0.40	=	-0.30	%
Aporte de Humedad A. Fino	921.05	x	0.006 7	=	6.17	Lts
Aporte de Humedad A. Grueso	171.97	x	- 0.003 0	=	-0.52	Lts
					5.65	Lts
Agua Efectiva del Diseño	190.89	-	5.67	=	185.20	Lts
<b>VALORES DE DISEÑO CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>						
Cemento		:			350.5	kg/m3
Agua		:			185.7	lts/m3
Agregado Fino		:			932.2	kg/m3
Agregado Grueso		:			172.1	kg/m3
Perla		:			4.4	kg/m3
Aditivo		:			2.103	kg/m3
<b>PROPORCIÓN EN PESO (KG)</b>						
Cemento	:		350.5/350.5	=	1.00	
Agregado Fino	:		932.2/350.5	=	2.66	
Agregado Grueso	:		346.9/350.5	=	0.49	
Agua	:		0.53X42.50	=	22.53	
Perla de Poliestireno	:			=	4.4	
<b>DOSIFICACIÓN EN PESO</b>						
	Perla	C	AF	AG	Agua	
	4.4	1	2.66	0.49	22.53	lts/m3
<b>PROPORCIÓN EN VOLUMEN (P3)</b>						
Peso Unitario Suelto Húmedo A. Fino		:			1458.4 4	kg/m3
Peso Unitario Suelto Húmedo A. Grueso		:			1308.3 1	kg/m3
Peso Unitario Suelto del Poliestireno		:			11.000	kg/m3

<b>DOSIFICACIÓN DE VOLUMEN</b>	Perla	C	AF	AG	Agua	lts/m <sup>3</sup>
	4.4	1	2.71	0.56	22.53	

Fuente: Elaboración propia (2019)

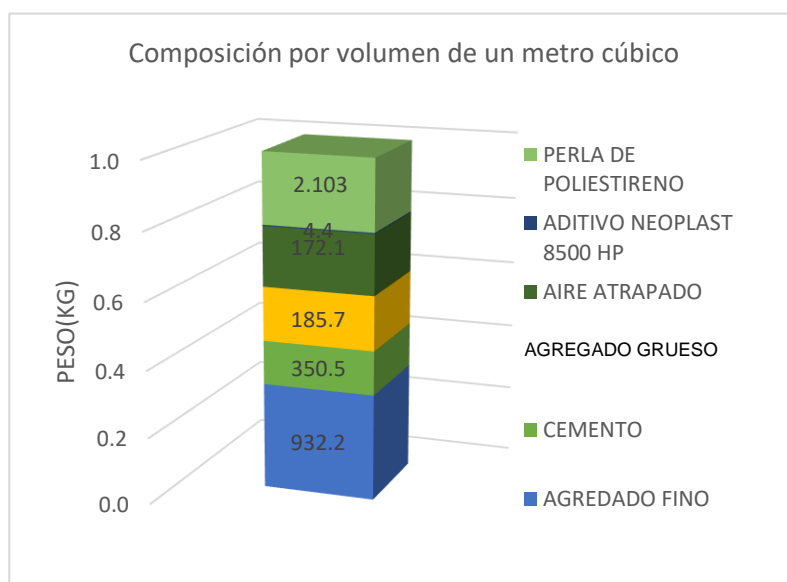


Gráfico N°14 Composición por peso de un metro cúbico con 80% de perlas de poliestireno.

Fuente: Elaboración propia (2019)

TABLA N°44: Diseño de concreto liviano no estructural con el 100% de perlas de poliestireno – CL03

IPO: CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL - CL03					
DISEÑO CONCRETO LIVIANO CON 100% DE PERLAS DE POLIESTIRENO					
MATERIALES					
CEMENTO			ADITIVO		
PACASMAYO EXTRA FORTE			NEOPLAST 8500 HP		
Peso Específico	3.15	gr/cm <sup>3</sup>	Densidad	1.1	kg/L
Peso Unitario	1500	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-

<b>DATOS DE LABORATORIO</b>			
DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	PERLA DE POLIESTIRENO
P. Especifico (gr/cm3)	2.65	2.69	0.017
% De Absorción (%)	0.54	0.40	0.00
P. Unitario Suelto (kg/m3)	1441	1307	11.00
P. Unit. Compactado (kg/m3)	1560	1425	11.00
Cantidad de perlas (%)			100
Módulo de Fineza	1.95	6.75	6.00
Tamaño Max. Nominal	---	1/2"	1/4"
Humedad para Diseño (%)	1.21	0.10	0.00
<b>DATOS PARA DOSIFICACIÓN</b>			
Estimación de Agua			192.8 lts/cm3
Relación Agua/Cemento			0.55
Factor			
Cemento	$192.8/0.55=350.5$		8.25
Contenido de Aire Atrapado	5	$/42.5 =$	Bls/m3
Proporción de Agregados	52% A. Fino	48% A. Grueso y P. Poliestireno	
Relación Aditivo/Cemento			0.006
Cantidad de Aditivo	$350.5 \times 0.006 =$		2.103 kg/m3
<b>CÁLCULOS DE VOLÚMENES ABSOLUTO DE LA MEZCLA</b>			
Cemento	$350.5/3150$	$=$	0.111 m3
Agua (Agua-Volumen aditivos)	$192.8/1000$	$=$	0.191 m3
Aire Atrapado	$2.5/100$	$=$	0.025 m3
Aditivo	$2.1/1100$		$\frac{0.002}{0.329}$ m3
Volumen Absol. De Agregados	$1.000 - 0.3291$	$=$	0.671 m3
Volumen Absoluto de la arena	52%		0.349
Volumen abs. De la piedra y perla	48%		0.322
Volumen abs. De la piedra			0.000
Volumen abs. De la Perla			0.322
Peso del Agregado Fino	$0.349 \times 2650$	$=$	924.5 kg
Peso del Agregado Grueso	$0.000 \times 2690$	$=$	0.00 kg
Peso de Perla de Poliestireno	$0.322 \times 17$	$=$	5.5 kg
<b>VALORES DE DISEÑO</b>			

Cemento		:	350.5	kg/m <sup>3</sup>		
Agua		:	190.90	kg/m <sup>3</sup>		
Agregado Fino		:	924.5	kg/m <sup>3</sup>		
Agregado Grueso		:	0.00	kg/m <sup>3</sup>		
Perla de Poliestireno		:	5.5	kg/m <sup>3</sup>		
Aditivo		:	2.103	kg/m <sup>3</sup>		
<b>CORRECCIÓN POR HUMEAD DE LOS AGREGADOS</b>						
Peso Húmedo A. Fino	924.54	x	1.0121	= 935.7 kg/m <sup>3</sup>		
Peso Húmedo A. Grueso	0.000	x	1.0010	= 0.00 kg/m <sup>3</sup>		
Humedad Superf. Del A. Fino	1.21	-	0.54	= 0.67 %		
Humedad Superf. Del A. Grueso	0.10	-	0.40	= -0.30 %		
Aporte de Humedad A. Fino	924.54	x	0.0067	= 6.19 Lts		
Aporte de Humedad A. Grueso	0.00	x	0.0030	= 0 Lts		
				<u>6.19</u> Lts		
Agua Efectiva del Diseño	190.89	-	6.19	= 184.70 Lts		
<b>VALORES DE DISEÑO CORREGIDOS POR HUMEDAD</b>						
Cemento		:	350.5	kg/m <sup>3</sup>		
Agua		:	184.7	lts/m <sup>3</sup>		
Agregado Fino		:	935.7	kg/m <sup>3</sup>		
Agregado Grueso		:	0.00	kg/m <sup>3</sup>		
Perla		:	5.5	kg/m <sup>3</sup>		
Aditivo		:	2.103	kg/m <sup>3</sup>		
<b>PROPORCIÓN EN PESO (KG)</b>						
Cemento	:	350.5/350.5	=	1.00		
Agregado Fino	:	935/350.5	=	2.67		
Agregado Grueso	:	0.00/350.5	=	0.00		
Agua	:	0.53X42.50	=	22.53		
Perla de Poliestireno	:		=	5.5		
<b>DOSIFICACIÓN EN PESO</b>						
	Perla	C	AF	AG	Agua	
	5.5	1	2.67	0	22.53	
						lts/m <sup>3</sup>
<b>PROPORCIÓN EN VOLUMEN (P3)</b>						

Peso Unitario Suelto Húmedo A. Fino	:	1458.4	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto Húmedo A. Grueso	:	4	kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto del Poliestireno	:	1308.3	kg/m <sup>3</sup>
	:	1	kg/m <sup>3</sup>
	:	11.000	kg/m <sup>3</sup>

<b>DOSIFICACIÓN DE VOLUMEN</b>	Perla	C	AF	AG	Agua	lts/m <sup>3</sup>
	5.5	1	2.72		22.53	

Fuente: Elaboración propia (2019)

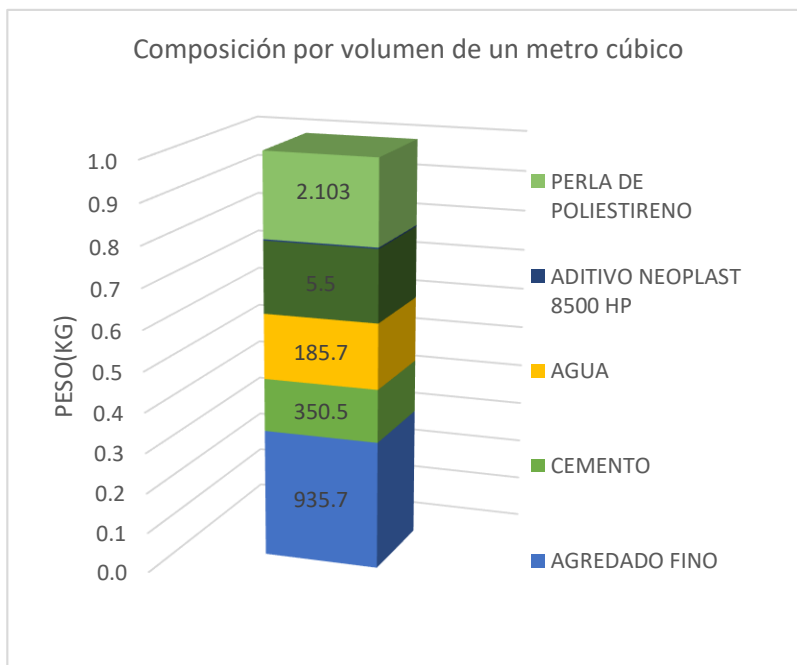


Gráfico N°15 Composición por peso de un metro cúbico con 100% de perlas de poliestireno  
Fuente: Elaboración propia (2019).

#### 4.2.2. Ensayo al concreto fresco

Los ensayos del concreto fresco se realizaron conforme a la norma ASTM C-172, se utilizaron probetas de plástico de 4" x 8 se tomó la mezcla de una

mezcladora modelo trompo de 210 lt, teniendo cuidado al momento del descargue al recipiente para evitar la segregación. Los ensayos se realizaron dentro de los 10 min de haberse tomado la primera muestra.

#### 4.2.2.1. Asentamiento

Este ensayo de asentamiento se realizó conforme la norma ASTM C-143 y la NTP 339.035. En la tabla N° 45 se presenta los resultados:



Gráfico N°16: Asentamiento del concreto liviano no estructural CL01, CL02, CL03.  
Fuente: Elaboración propia (2019).

TABLA N°45: Asentamiento de concreto liviano no estructural

ASENTAMIENTO SEGÚN NTP 339.035	
DESCRIPCION	RESULTADOS
ASENTAMIENTO CLO1 PERLAS AL 60%	4"
ASENTAMIENTO CLO2 PERLAS AL 80%	4"
ASENTAMIENTO CLO2 PERLAS AL 100%	7"

Fuente: Elaboración propia (2019)

#### 4.2.2.2. Temperatura del concreto

El ensayo de temperatura del concreto se realizó conforme la norma ASTM C138 y la NTP 339.046. Se pueden observar la ejecución y los resultados de la prueba realizada en el gráfico N° 17 y tabla N° 46, respectivamente:



Gráfico N°17 Temperatura del concreto  
Fuente: Elaboración propia (2019).

TABLA N°46: Ensayo de temperatura del concreto

Ensayo de temperatura del concreto (ASTM C138 y la NTP 339.046)	
DESCRIPCION	RESULTADOS
TEMPERATURA CLO1 PERLAS AL 60%	32.4°
TEMPERATURA CLO2 PERLAS AL 80%	32.3°
TEMPERATURA CLO2 PERLAS AL 100%	37.7°

Fuente: Elaboración propia (2019)

#### 4.2.2.3. Exudación

El ensayo de exudación se realizó conforme la norma ASTM C138 y la NTP 339.046. No se encontró exudación en los diseños de mezclas.





Gráfico N°18. Ensayo de exudación en recipiente de 10" de diámetro  
Fuente: Elaboración propia (2019)

### **4.2.3. Ensayos al concreto endurecido**

#### **4.2.3.1. Resistencia a la compresión**

Los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron de acuerdo a la norma ASTM C-39 y la NTP 339.034 con la muestra de 8 testigos por cada edad de 7,14 y 28 días.



Gráfico N° 19. Resistencia a la compresión  
Fuente: Elaboración propia (2019).

TABLA N°47: Cuadro de la resistencia a la compresión CL01

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>		
<b>CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL ADICIONANDO 60% DE PERLAS DE POLIESTIRENO</b>		
EDAD	RESISTENCIA	F'C
(días)	(Kg/cm2)	%
7	75	36
14	88	50
28	128	73

Fuente: Elaboración propia (2019).

TABLA N°48: Cuadro de la resistencia a la compresión CL02

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>		
<b>CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL ADICIONANDO 80% DE PERLAS DE POLIESTIRENO</b>		
EDAD	RESISTENCIA	F'C
(días)	(Kg/cm2)	%
7	40	23
14	52	30
28	115	66

Fuente: Elaboración propia (2019).

TABLA N°49: Cuadro de la resistencia a la compresión CL03

<b>RESISTENCIA A LA COMRESIÓN</b>		
<b>CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL ADICIONANDO 100% DE PERLAS DE POLIESTIRENO</b>		
EDAD (Días)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	F°C %
7	23	13
14	45	26
28	99	57

Fuente: Elaboración propia (2019).

#### 4.2.3.2. Ensayo de módulo de elasticidad

El ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM C-469 con una muestra de 2 testigos por cada porcentaje de agregado de perlas de poliestireno a la edad de 28 días. En el gráfico N° 20 y en las tabla N° 50, 51 y 52 se observa la ejecución y los resultados, respectivamente:



Gráfico N° 20. Módulo de elasticidad.

Fuente: Elaboración propia (2019).

TABLA N°50: Cuadro de módulo de elasticidad al 60%

### **MÓDULO DE ELASTICIDAD**

<b>CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL ADICIONANDO 60% DE PERLAS DE POLIESTIRENO</b>			
PROBETAS (N°)	EDAD (días)	E (kg/cm <sup>2</sup> )	E PROMEDIO
1	28	104 974	<b>103 273</b>
2	28	101 571	

Fuente: Elaboración propia (2019).

TABLA N°51: Cuadro de módulo de elasticidad al 80%

<b>MODULO DE ELASTICIDAD</b>			
<b>CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL ADICIONANDO 80% DE PERLAS DE POLIESTIRENO</b>			
PROBETAS (N°)	EDAD (días)	E (kg/cm <sup>2</sup> )	E PROMEDIO
1	28	103 246	<b>100 722</b>
2	28	98 197	

Fuente: Elaboración propia (2019).

TABLA N°52: Cuadro de módulo de elasticidad al 100%

<b>MODULO DE ELASTICIDAD</b>			
<b>CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL ADICIONANDO 100% DE PERLAS DE POLIESTIRENO</b>			
PROBETAS (N°)	EDAD (días)	E (kg/cm <sup>2</sup> )	E PROMEDIO
1	28	69 590	<b>69 760</b>
2	28	69 929	

Fuente: Elaboración propia (2019).

#### 4.3. Análisis e interpretación de resultados.

Los resultados obtenidos se analizaron e interpretaron previa tabulación

##### 4.3.1 Análisis de las características de los materiales.

TABLA N°53: Cuadro de resumen

CUADRO RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	Agregados fino	Agregado grueso	Perlas de poliestireno	Neoplast 8500 HP
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.64	2.67	0.017	1.1
Porcentaje de Absorción ( %)	0.54	0.4	0	-
Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1441	1307	11	-
Peso Unitario compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1560	1425	11	-
Módulo de Fineza	1.95	6.75	6	-
Tamaño Máximo Nominal	-	1/2	1/4	-
Humedad de diseño (%)	1.21	0.1	0	-

Fuente: Elaboración propia (2019).

La Tabla N°53 nos muestra el resumen de las características físicas de los materiales utilizados para los diseños.

La arena es mal graduada, pues su módulo de fineza es de 1.95, fuera del rango considerado en la NTP 400.011, la cual indica que el módulo de finura de una arena adecuada para producir concreto debe estar entre 2.3 y 3.1. Sin embargo, tiene un peso específico de 2.64kg/cm<sup>3</sup> y cumple con el rango propuesto por (BENITES ESPINOZA, 2011) que sustenta que el peso específico de las arenas varía entre 2.5 y 2.7 gr/cm<sup>3</sup>.

El mayor porcentaje retenido de la arena se encuentra en el tamiz N°100 el cual cuenta con una abertura de 0.149 mm.

Las perlas de poliestireno cuentan con un mayor porcentaje retenido en los tamices 1/4" y N°04. Por el cual su tamaño máximo nominal es de 1/4".

Las perlas de poliestireno no absorben agua, por el cual su % de absorción es cero.

Los aditivos Neoplast 8500 Hp y Eucocell 1000 fueron elaborados por la empresa Química Suiza Industrial del Perú S.A por su confiabilidad en el mercado.

#### **4.3.2 Análisis de diseño de mezcla de Concreto liviano no estructural.**

#### 4.3.2.1. Análisis de diseño de mezclas.

TABLA N°54: Cuadro resumen de diseño de mezclas “Concreto liviano no estructural”

CUADRO DE RESUMEN DE DISEÑO DE MEZCLA			
CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL			
Dosificación	CL - 01	CL - 02	CL - 03
Estimación de agua (Lt/m <sup>3</sup> )	192.8	192.8	192.8
Relacion Agua/Cemento	0.55	0.55	0.55
Factor Cemento	8.25	8.25	8.25
Contenido de aire atrapado (%)	2.5	2.5	2.5
Contenido de perlas de poliestireno (%)	60	80	100
Relacion aditivo /cemento	0.006	0.006	0.006
Cant. Aditivo-Neoplas8500 Hp (kg/m <sup>3</sup> )	2.103	2.103	2.103

Fuente: Elaboración propia (2019)

En el diseño de Concreto Liviano no estructural se tuvo la cantidad de agua de 192.8 Lt/m<sup>3</sup> y el contenido de aire real de 2.5%. Manteniéndose la relación Agua/cemento de 0.55, la proporción de agregados 52% Agregado Fino y la sustitución de 60%, 80% y 100% del agregado grueso por perlas de poliestireno y la relación aditivos/cemento la cual influye en gran medida en el control de segregación

#### 4.3.2.2. Análisis a los ensayos del concreto fresco.

TABLA N°55: Cuadro resumen de ensayos al concreto fresco

ASENTAMIENTO, TEMPERATURA Y EXUDACIÓN			
IDENTIFICACIÓN	PORCENTAJE DE PERLAS		
	60%	80%	100%
<b>ASENTAMIENTO</b>	4"	4"	7"

<b>TEMPERATURA</b>	32.4°	32.3°	37.7°
<b>EXUDACION</b>	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2019).

Los resultados en pulgadas del asentamiento mostrados en la tabla, nos indica según la clasificación de “Abanto” en la Tabla N° 15, que el concreto obtenido está en el rango de TRABAJABLE y muy TRABAJABLE.

Los ensayos de temperatura se realizaron utilizándose un termómetro calibrado del laboratorio colocándose a 3” sumergido del concreto por un tiempo de 5 minutos. La temperatura de los concretos se encuentra expresada en Grados Celsius.

Los diseños de concreto liviano mostrados no presentan exudación.

#### **4.3.2.3. Análisis a los ensayos del concreto endurecido.**

Los ensayos al concreto endurecido realizados fueron: resistencia a la compresión, en edades de 7, 14 y 28 días, y para el módulo de elasticidad solo a los 28 días.

##### **4.3.2.3.1. Análisis de densidad**

La densidad del concreto en estado endurecido a los 28 días es:

TABLA N°56: Cuadro resumen de ensayos

<b>CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL</b>			
<b>IDENTIFICACIÓN (DIAS)</b>	<b>DENSIDAD (kg/m3)</b>		
	<b>60%</b>	<b>80%</b>	<b>100%</b>
28	1 478, 685	1 458,046	1 298, 402

Fuente: Elaboración propia (2019).

En las tablas 56 y 57 se muestra los resultados obtenidos a los 28 días de la densidad y resistencia del concreto, según las cuales para el 60% de perlas de poliestireno la densidad es de 1 478, 685 Kg/m<sup>3</sup> y alcanza una resistencia de 128 kg/cm<sup>2</sup>; para el 80% de perlas de poliestireno una densidad de 1 458, 046 Kg/m<sup>3</sup> y una resistencia de 115 Kg/cm<sup>2</sup> y para la sustitución del 100% de perlas de poliestireno una densidad de 1 298, 402 Kg/m<sup>3</sup> y una resistencia de 99 Kg/cm<sup>2</sup>, valores que confirman, en todos los casos que el concreto obtenido es “no estructural” pero de alta densidad.

#### 4.3.2.3.2 Análisis de resistencia a la compresión.

TABLA N°57: Cuadro resumen de ensayos de resistencia a la compresión

<b>CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL</b>			
<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>Sustitución de Perlas de Poliestireno al porcentaje de:</b>		
	<b>60%</b>	<b>80%</b>	<b>100%</b>
Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )			
f'c 7 días	75	40	23
f'c 14 días	88	52	45
f'c 28 días	128	115	99

Fuente: Elaboración propia (2019)

En el ensayo de resistencia a compresión del concreto, sustituyendo perlas de poliestireno en los porcentajes de 60, 80 y 100 por ciento, la resistencia a los 28 días se mantuvo entre los valores mínimos de 5 MP y no mayor que 17MPa; requisito fundamental para ser considerados como concreto liviano no estructural.

#### 4.3.2.3.3. Análisis del módulo de elasticidad

TABLA N°58: Cuadro resumen de ensayos de módulo de elasticidad

<b>CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL</b>			
<b>Identificación</b>	<b>Sustitución de perlas de poliestireno al porcentaje de:</b>		
	<b>60%</b>	<b>80%</b>	<b>100%</b>
Módulo de elasticidad (Kg/cm <sup>2</sup> )			



f'c (28 días)	103 273	100 722	69 760
---------------	---------	---------	--------

Fuente: Elaboración propia (2019).

El módulo de elasticidad estático promedio del concreto a los 28 días, con sustitución de 60% de agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo de  $\varnothing=1/8$ " es de 103 273 kg/cm<sup>2</sup>, con sustitución del 80% es de 100 722 Kg/cm<sup>2</sup> y con el 100% de sustitución de agregado grueso por perlas de poliestireno es de 69 760 Kg/cm<sup>2</sup>; todas estas pruebas se realizaron conforme a lo estipulado en el ASTM C469.

### 4.3.3. Verificación de la Hipótesis.

#### 4.3.3.1. Hipótesis general.

Las propiedades físico – mecánicas del concreto liviano no estructural sustituyendo el agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo de  $\varnothing=1/8$ " cumplen con la densidad y resistencia a la compresión establecidas por el "Portland Cement Association" para uso en la elaboración de concreto liviano no estructural.

TABLA N°59:Cuadro de verificación de hipótesis

PERLAS DE POLIESTIRENO	DENSIDAD			RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
	DENSIDAD	RANGO	CONDICIÓN	RESISTEN.	RANGO	CONDICIÓN
%						
60	1 478.685	1000-1800	<b>cumple</b>	128	50.985-173.349	<b>cumple</b>
80	1 458.046	1000-1800	<b>cumple</b>	115	50.985-173.349	<b>cumple</b>
100	1 298.402	1000-1800	<b>cumple</b>	99	50.985-173.349	<b>cumple</b>

Fuente: Elaboración propia (2019).

En la tabla N°59 se verificó que los Concretos Livianos a base de poliestireno, Concreto liviano no estructural realizadas en la presente tesis cumplen con el rango de aceptación propuesta por el “Portland Cement Association” descritos en la tabla N°03 “Categorización de los concretos livianos”. Por consiguiente, se confirma la hipótesis planteada en esta investigación.

## **CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

A partir del análisis de los resultados de esta investigación y su comparación con los resultados alcanzados en investigaciones en las que se usó perlas de poliestireno como material constituyente de las mezclas de concreto, se afirma:

1. La resistencia a la compresión de este concreto a los 7 y 28 días alcanzó 75 y 128 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, utilizando el 52% de agregado fino de módulo de fineza 1.95 y 60% de perlas de poliestireno expandido de módulo de fineza 6, a cuya mezcla se le añadió 2.103 Lt/m<sup>3</sup> de plastificante Neoplas 8500 HP, habiéndose utilizado una relación A/C de 0.55; sin embargo, (QUESADA VÍQUEZ, 2014) a los 7 y 28 días alcanzó para el concreto liviano no estructural una resistencia de 122.4 Kg/cm<sup>2</sup> y 164.22 Kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, resistencia lograda al utilizar el 45% de perlas de poliestireno expandido de un módulo de fineza de 5.3 y 55% de arena con módulo de fineza 3.8, no obstante, haber usado 4.96 Lt/m<sup>3</sup> de

plastificante y una relación A/C de 0.58. La densidad encontrada en la presente investigación fue 1478.685 Kg/m<sup>3</sup>, mientras que (QUESADA VÍQUEZ, 2014) obtuvo una densidad de 1580.7 Kg/m<sup>3</sup>, siendo en ambos casos el rango de 1000 - 1800 Kg/m<sup>3</sup> en densidad y entre 5 Mpa - 17 Mpa (51 Kg/cm<sup>2</sup> – 173.4 Kg/cm<sup>2</sup>) en resistencia a la compresión, como estipula el cuadro de “Categorización de los concretos livianos” del Portland Cement Association.

2. La resistencia a la compresión del concreto liviano no estructural a los 7 y 28 días alcanzó 75 y 128 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, y un módulo de elasticidad de 103,925 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, utilizando el 52% de agregado fino de módulo de fineza 1.95 y 60% de perlas de poliestireno expandido de módulo de fineza 6, a cuya mezcla se le añadió 2.103 Lt/m<sup>3</sup> de plastificante, habiéndose utilizado una relación A/C de 0.55; sin embargo, (RODRIGUEZ CHICO, 2017) a los 7 y 28 días alcanzó para un concreto liviano a base de poliestireno expandido alcanzó una resistencia de 20.30 Kg/cm<sup>2</sup> y 35.84 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente y un módulo de elasticidad de 34,146.6 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, resistencia lograda al utilizar el 7.61 % de perla de poliestireno expandido modificado con densidad de 154.17 Kg/m<sup>3</sup> y 92.39 % de arena con módulo de fineza 2.71, y una relación A/C de 0.47. La densidad encontrada en la presente investigación fue 1478.685 Kg/m<sup>3</sup>, mientras que (RODRIGUEZ CHICO, 2017) obtuvo una densidad de 1232.12 Kg/m<sup>3</sup>, sin utilizar aditivos en sus diseños. Por su parte (TUANAMA SARRIA, 2019) obtuvo un concreto a los 7 y 28 días de 145 y 173 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, y se obtuvo utilizando el 52% de agregado fino de módulo de fineza 1.73 y el 30% de perlas de poliestireno expandido de módulo de fineza 6, a cuya mezcla se le añadió 2.103 L/m<sup>3</sup> de plastificante, habiéndose utilizado una relación A/C de 0.55.
3. La resistencia a la compresión de este concreto a los 7 y 28 días alcanzó 40 y 115 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, utilizando el 52% de agregado fino de módulo de fineza 1.95 y 80% de perlas de poliestireno expandido de módulo de fineza 6, a cuya mezcla se le añadió 2.103 Lt/m<sup>3</sup> de plastificante Neoplas 8500 HP, habiéndose utilizado una relación A/C de 0.55; sin

embargo, (QUESADA VÍQUEZ, 2014) a los 7 y 28 días alcanzó para el concreto liviano no estructural una resistencia de 122.4 Kg/cm<sup>2</sup> y 164.22 Kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, resistencia lograda al utilizar el 45% de perla de poliestireno expandido con un módulo de fineza de 5.3 y 55% de arena con módulo de fineza 3.8, no obstante, haber usado 4.96 Lt/m<sup>3</sup> de plastificante y una relación A/C de 0.58. La densidad encontrada en la presente investigación fue 1458.046 Kg/m<sup>3</sup>, mientras que (QUESADA VÍQUEZ, 2014) obtuvo una densidad de 1580.7 Kg/m<sup>3</sup>. Los cuales están en un rango de 1000 - 1800 Kg/m<sup>3</sup> en densidad y entre 5 - 17 Mpa (51 Kg/cm<sup>2</sup> – 173.4 Kg/cm<sup>2</sup>) en resistencia a la compresión, como estipula el cuadro de “Categorización de los concretos livianos” del Portland Cement Association.

4. La resistencia a la compresión del concreto liviano no estructural a los 7 y 28 días alcanzó 40 y 115 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, y un módulo de elasticidad de 97,547 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, utilizando el 52% de agregado fino de módulo de fineza 1.95 y 80% de perlas de poliestireno expandido de módulo de fineza 6, a cuya mezcla se le añadió 2.103 Lt/m<sup>3</sup> de plastificante, habiéndose utilizado una relación A/C de 0.55; sin embargo, (RODRIGUEZ CHICO, 2017) a los 7 y 28 días alcanzó para un concreto liviano a base de poliestireno expandido alcanzó una resistencia de 20.30 Kg/cm<sup>2</sup> y 35.84 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente y un módulo de elasticidad de 34,146.6 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, resistencia lograda al utilizar el 7.61 % de perla de poliestireno expandido modificado con densidad de 154.17 Kg/m<sup>3</sup> y 92.39 % de arena con módulo de fineza 2.71, y una relación A/C de 0.47. La densidad encontrada en la presente investigación fue 1478.685 Kg/m<sup>3</sup>, mientras que (RODRIGUEZ CHICO, 2017) obtuvo una densidad de 1232.12 Kg/m<sup>3</sup>, sin utilizar aditivos en sus diseños. Por su parte (TUANAMA SARRIA, 2019) obtuvo un concreto a los 7 y 28 días de 145 y 173 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, y se obtuvo utilizando el 52% de agregado fino de módulo de fineza 1.73 y el 30% de perlas de poliestireno expandido de módulo de fineza 6, a cuya mezcla se le añadió 2.103 L/m<sup>3</sup> de plastificante, habiéndose utilizado una relación A/C de 0.55.

5. La resistencia a la compresión de este concreto a los 7 y 28 días alcanzó 23 y 99 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, utilizando el 52% de agregado fino de módulo de fineza 1.95 y 100% de perlas de poliestireno expandido de módulo de fineza 6, a cuya mezcla se le añadió 2.103 Lt/m<sup>3</sup> de plastificante Neoplas 8500 HP, habiéndose utilizado una relación A/C de 0.55; sin embargo, (QUESADA VÍQUEZ, 2014) a los 7 y 28 días alcanzó para el concreto liviano no estructural una resistencia de 122.4 Kg/cm<sup>2</sup> y 164.22 Kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, resistencia lograda al utilizar el 45% de perla de poliestireno expandido con un módulo de fineza de 5.3 y 55% de arena con módulo de fineza 3.8, no obstante, haber usado 4.96 Lt/m<sup>3</sup> de plastificante y una relación A/C de 0.58. La densidad encontrada en la presente investigación fue 1298.402 Kg/m<sup>3</sup>, mientras que (QUESADA VÍQUEZ, 2014) obtuvo una densidad de 1580.7 Kg/m<sup>3</sup>. Los cuales están en un rango de 1000 - 1800 Kg/m<sup>3</sup> en densidad y entre 5 - 17 Mpa (51 Kg/cm<sup>2</sup> – 173.4 Kg/cm<sup>2</sup>) en resistencia a la compresión, como estipula el cuadro de “Categorización de los concretos livianos” del Portland Cement Association.
6. La resistencia a la compresión del concreto liviano no estructural a los 7 y 28 días alcanzó 23 y 99 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, y un módulo de elasticidad de 69,760 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, utilizando el 52% de agregado fino de módulo de fineza 1.95 y 100% de perlas de poliestireno expandido de módulo de fineza 6, a cuya mezcla se le añadió 2.103 Lt/m<sup>3</sup> de plastificante, habiéndose utilizado una relación A/C de 0.55; sin embargo, (RODRIGUEZ CHICO, 2017) a los 7 y 28 días alcanzó para un concreto liviano a base de poliestireno expandido alcanzó una resistencia de 20.30 Kg/cm<sup>2</sup> y 35.84 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente y un módulo de elasticidad de 34,146.6 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, resistencia lograda al utilizar el 7.61 % de perla de poliestireno expandido modificado con densidad de 154.17 Kg/m<sup>3</sup> y 92.39 % de arena con módulo de fineza 2.71, y una relación A/C de 0.47. La densidad encontrada en esta presente investigación fue 1298.402 Kg/m<sup>3</sup>, mientras que (RODRIGUEZ CHICO, 2017) obtuvo una densidad de 1232.12 Kg/m<sup>3</sup>, sin usar aditivos en sus diseños. Por su parte (TUANAMA SARRIA, 2019) obtuvo un concreto a los 7 y 28 días de 145 y 173 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, y se obtuvo utilizando el 52% de agregado fino de módulo

de fineza 1.73 y el 30% de perlas de poliestireno expandido de módulo de fineza 6, a cuya mezcla se le añadió 2.103 L/m<sup>3</sup> de plastificante, habiéndose utilizado una relación A/C de 0.55.

## **CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. CONCLUSIONES**

1. Ha quedado verificado que “Las propiedades físico – mecánicas del concreto liviano no estructural sustituyendo diversos porcentajes del agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal de  $\varnothing=1/8$ ” cumplen con la densidad y resistencia a la compresión establecidas por el “Portland Cement Association” para uso en la elaboración de Concreto liviano no estructural”, por consiguiente, se confirma la hipótesis planteada en esta investigación.
2. Los concretos livianos no estructurales con sustitución de 60%, 80% y 100%, en la presente investigación lograron densidades que están en el rango para la clasificación que realiza la Portland Cement Association.
3. El “concreto liviano no estructural” alcanzó a los 28 días una resistencia a la compresión promedio de  $f'c = 128 \text{ kg/cm}^2$ , de  $f'c = 115 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 99 \text{ kg/cm}^2$  con sustituciones de 60%, 80% y 100%, respectivamente.

4. El concreto Liviano alcanzó densidades de 1,478.685 kg/m<sup>3</sup>, 1458.046 kg/m<sup>3</sup> y 1298.402 kg/m<sup>3</sup>, para sustituciones de 60%, 80% y 100%, respectivamente.
5. El concreto liviano con perlas de poliestireno posee muy baja disminución de volumen de concreto y esto evita se produzcan grietas durante el proceso de fraguado y endurecimiento, pudiéndose usarse en grandes superficies sin necesidad de incrementar juntas de dilatación.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

1. Para el mezclado, colocar en la mezcladora los materiales en el orden siguiente: agregado fino, cemento, agua y aditivos; mezclar hasta observar una mezcla homogénea; seguidamente adicionar el poliestireno expandido y continuar hasta que la mezcla sea homogénea.
2. El concreto liviano fabricado a base de poliestireno expandido no necesita de vibrado, pues esta actividad contribuirá con la segregación de los elementos constitutivos de la mezcla, ya que una de las causas por que suceda la segregación es la baja densidad de los agregados.
3. Usar el concreto liviano no estructural para la elaboración de unidades de albañilería y tabiquería (no estructural); asimismo, para cimientos corridos, sobrecimientos, falsas zapatas, pantallas de drenaje, así como, fabricación de elementos ornamentales usados en arquitectura, en la elaboración de paneles aislantes.

4. Realizar pruebas de aislamiento térmico y acústico en los diseños con perlas de poliestireno para determinar su eficiencia como material aislante térmico y acústico.
5. Se recomienda proseguir con esta línea de investigación y buscar la visibilidad de los resultados que se vayan logrando.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. ACI 213R – 87, “Guide to Structural Lightweight Aggregate Concrete” ACI manual of concrete Practice, Parte 1, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
2. Ari, I. 2002. Estudio de las propiedades del concreto fresco y endurecido, de mediana a alta resistencia, con aditivo superplastificante y retardador de fraguado, con cemento Portland Tipo I. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad nacional de Ingeniería. 2002.
3. A.M. y J.J. Brooks “Tecnología del Concreto – Editorial Trillas – Primera Edición”.
4. Barba, C. & García, V. (2018). Estudio exploratorio en diseño de mezclas del concreto cemento-arena liviano empleando perlitas de poliestireno, arcilla expandida y agregado fino de la cantera Irina Gabriela, distrito san juan bautista, Iquitos 2018.
5. Bazán E. & Meli, R. 2001. Diseño Sísmico de edificios. Noriega Editores. Limusa.



6. Benites Espinoza, C. M. (2011). Concreto (hormigón) con cemento Pórtland Puzolánico tipo IP Atlas de resistencias tempranas con la tecnología SIKA Viscocrete 20HE. Lima- Perú: Tesis.
7. Biondi, Ana. 2007. Instituto de la Construcción y Gerencia. “EL CONCRETO DE ARENA”. Boletín Informativo 337-02EI – 20.
8. Campos. (2014). Desarrollo de morteros ligeros base cemento portland con propiedades térmicas optimizadas mediante la incorporación de un micro co-polímero.
9. Chávez, M. y Pinchi, E. 2015. Producción Industrial de agregados y concreto en la ciudad de Tarapoto. Tesis de Maestría dirigida por Ms. Ing. Ana Torre Carrillo. Maestría en Tecnología de la Construcción. Universidad Nacional de Ingeniería. 2015.
10. Contreras Sutherland, Mariam C. 2016. Diseño de mezcla de concreto a base de perlas de poliestireno expandido como agregado para la elaboración de bloques destinados a mampostería de concreto aligerado. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nueva Esparta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Caracas. Venezuela.
11. Calderón R. 2016. “Influencia del poliestireno, aditivo incorporador de aire en el comportamiento mecánico del concreto con agregado natural y procesado de la ciudad de Huancané”. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Universidad Andina. Juliaca. Perú 2016
12. Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda que modifica la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-Vivienda, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-Vivienda.

13. Gastañada, F y Huamán, J. 2017. “Evaluación de la influencia del poliestireno en el desarrollo de la resistencia a la compresión, peso específico y conductividad térmica para un concreto de diseño  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> respecto a un concreto patrón”. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Universidad Andina del Cuzco. Perú, 2017.
14. Glucklich, J. 1963. Fracture of Plain Concrete. ASCE Engineering Mechanics Division. 89 (6), 1963, págs. 127 – 138.
15. Gonzales, F. 2002. Manual de Supervisión de Obras de Concreto. 148 páginas. Editorial Limusa, 2002. ISBN: 9789681859077.
16. Harmsen, T. E. (2005). Diseño de Estructuras de Concreto Armado. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial.
17. Irigoín, Ulises. 2015. Análisis de la Sostenibilidad Minera No Metálica mediante Indicadores Sintéticos. Aplicación para Explotación de Agregados Pétreos para Construcción en Loreto y San Martín, Perú. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 2015.
18. Kosmotks, S.H. & Kerkhoff, B. 2004. Diseño y Control de Mezclas de Concreto, PCA, 2004.
19. Manrique, R. 2016. Diseño de una mezcla de concreto experimental sustituyendo el agregado grueso por perlas de poliestireno de  $\varnothing=3/4$ " y un asentamiento de 3", para lograr una resistencia a la compresión  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Nueva Esparta. República Bolivariana de Venezuela.
20. Niño Hernández, J.R. 2010. Tecnología del Concreto – Tomo I. Materiales, propiedades y diseño de mezclas, capítulo 11.
21. Paulino Fierro, J. C., & Espino Almeyda, R. A. (2017). Análisis comparativo de la utilización del concreto simple y el concreto liviano

- con perlitas de poliestireno como aislante térmico y acústico aplicado a unidades de albañilería en el Perú. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
22. Pérez, T. &. (2019). Influencia de los aditivos incorporador de aire y superplastificante en las propiedades físicas y mecánicas del concreto cemento -arena liviano, elaborado con perlas de poliestireno expandido y agregado fino. Iquitos, 2018.
23. Quesada Víquez, N. M. (2014). Estudio exploratorio en diseños de mezclas de concreto liviano para Holcim (Costa Rica) S.A. . COSTA RICA: --.
24. Quimbay, R. 2012. “Estimación del módulo de elasticidad del concreto y del mortero mediante TCTM”. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: [http://www.bdigital.unal.edu.co/12424/1/modulo\\_elasticidad\\_concreto.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/12424/1/modulo_elasticidad_concreto.pdf)
25. Ríos. 2011. “Empleo de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto Hidráulico”. Tesis. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú.
26. Rivva E. 2007. Tecnología del Concreto. “Diseño de Mezclas. Segunda Edición. Lima 2007.
27. Rodríguez H. 2017. “Concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural-Cajamarca” Tesis. Universidad Nacional de Cajamarca. Perú 2017.
28. Sidney Mindess, J. Francis Young, David Darwin “Concrete”, 2da edición, Prentice Hall editorial, pp. 459 – 467.

29. Tuanama, K. 2020. "Concreto liviano no estructural, sustituyendo parcialmente el agregado grueso por perlas de poliestireno expandido, provincia y departamento de San Martín - 2019" Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.. Universidad Científica del Perú, San Martín – Perú 2019.

## ANEXO N°01. MATRIZ DE CONSISTENCIA

<b>Título: “CONCRETO LIVIANO NO ESTRUCTURAL, SUSTITUYENDO EL AGREGADO GRUESO POR PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO, DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN - 2019”</b>					
<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Metodología</b>
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cómo se ven afectadas las propiedades físicas y mecánicas del concreto al ser sustituido de la mezcla el agregado grueso, por perlas de poliestireno expandido de tamaño de <math>\varnothing=1/8</math>”?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b></p> <p>1. ¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas de los diseños de mezcla del concreto convencional obtenido con el agregado fino de las canteras del río Cumbaza, distrito de Morales, departamento de San Martín y el agregado grueso de las canteras del ámbito del distrito de Buenos Aires, provincia de Picota, departamento de San Martín?</p> <p>2. ¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas resultantes en laboratorio de los diseños de mezcla del concreto obtenido</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Determinar cuáles son las características físicas y mecánicas del concreto liviano no estructural al ser sustituido de la mezcla diversos porcentajes de agregado grueso, por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal de <math>\varnothing=1/8</math>”.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <p>1. Determinar las propiedades físicas en estado fresco, del concreto liviano no estructural al ser sustituido el 60%, 80% y 100% del volumen de agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal <math>\varnothing=1/8</math>”.</p> <p>2. Determinar las propiedades físicas y mecánicas en estado endurecido, del concreto liviano no estructural al ser sustituido el 60%, 80% y 100% del volumen de agregado grueso por perlas</p>	<p><b>H<sub>0</sub>:</b></p> <p>“Las propiedades físico – mecánicas del concreto liviano no estructural sustituyendo diversos porcentajes del agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal de <math>\varnothing=1/8</math>” cumplen con la densidad y resistencia a la compresión establecidas por el “Portland Cement Association” para uso en la elaboración de Concreto liviano no estructural”.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Caracterización física de agregados y perlas de poliestireno.</p> <p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Propiedades físicas y mecánicas del concreto liviano no estructural.</p>	<p><b>Variable X:</b></p> <p>Granulometría</p> <p>Módulo de fineza de los agregados.</p> <p>Módulo de fineza de las perlas de poliestireno expandido.</p> <p>% de sustitución de agregado grueso por perlas de poliestireno expandido.</p> <p>Diseño de mezclas.</p> <p><b>Variable Y:</b></p> <p>Densidad</p> <p>Esfuerzo a la compresión.</p> <p>Módulo de elasticidad</p>	<p>Corresponde a una investigación de tipo cuasi-experimental.</p>

<p>con el agregado fino de las canteras del río Cumbaza, distrito de Morales, departamento de San Martín; sustituyendo por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo <math>\varnothing=1/8"</math>, el 60% del agregado grueso de las canteras del ámbito del distrito de Buenos Aires, provincia de Picota, departamento de San Martín?</p> <p>3. ¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas, resultantes en laboratorio de los diseños de mezcla del concreto obtenido con el agregado fino de las canteras del río Cumbaza, distrito de Morales, departamento de San Martín; sustituyendo por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo <math>\varnothing=1/8"</math>, el 80% del agregado grueso correspondiente a los diámetros de <math>\varnothing=1/2"</math> hasta <math>\varnothing=1/4"</math> de las canteras del ámbito del distrito de Buenos Aires, provincia de Picota, departamento de San Martín?</p> <p>4. ¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas, resultantes en laboratorio de los diseños de mezcla del concreto obtenido</p>	<p>de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal <math>\varnothing=1/8"</math>.</p> <p>3. Establecer un análisis comparativo de las propiedades mecánicas en estado endurecido, del concreto liviano no estructural al ser sustituido el 60%, 80% y 100% del volumen de agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo nominal <math>\varnothing=1/8"</math>.</p> <p>4. Establecer un análisis comparativo, para determinar si los resultados están en el rango de clasificación según la Portland Cement Association.</p>				
---	--	--	--	--	--

<p>con el agregado fino de las canteras del río Cumbaza, distrito de Morales, departamento de San Martín; sustituyendo por perlas de poliestireno expandido de tamaño máximo <math>\varnothing=1/8"</math>, el 100% del agregado grueso correspondiente a los diámetros de <math>\varnothing=1/2"</math> hasta <math>\varnothing=1/4"</math> de las canteras del ámbito del distrito de Buenos Aires, provincia de Picota, departamento de San Martín?</p>					
--	--	--	--	--	--