

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“CONCRETO LIVIANO A BASE DE POLIESTIRENO
EXPANDIDO PARA LA PREFABRICACIÓN DE UNIDADES DE
ALBAÑILERIA NO ESTRUCTURAL - CAJAMARCA”.**

TESIS PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por el Bachiller:

HUGO EMMANUEL RODRÍGUEZ CHICO

Asesor:

MCS. ING. HÉCTOR PÉREZ LOAYZA

Cajamarca – Perú

2017

AGRADECIMIENTO

Deseo dar gracias a Dios por protegerme y darme salud día a día, a todos mis familiares (mi abuela, mi madre, mis hermanas y prim@s) que debido a su gran apoyo he conseguido alcanzar este gran logro en mi vida; que es el ser Ingeniero Civil. Quiero agradecer también de la misma manera a mis amigos y compañeros de estudios que fueron quienes me apoyaron incondicionalmente en la realización de los diferentes ensayos de laboratorio para el desarrollo de mi tesis.

También quiero agradecer a mi asesor de tesis, el Mcs. Ing. Ingeniero Héctor Pérez Loayza, quien me ofreció su ayuda y guía para el desarrollo satisfactorio del presente trabajo de investigación y gracias a Él por sus conocimientos impartidos en las aulas que me llevaron a realizar mi tesis en el área de Tecnología del Concreto.

Agradecer a la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Facultad de Ingeniería, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil y a los diferentes docentes que en ella laboran que de alguna manera directa o indirectamente me apoyaron e inculcaron los conocimientos necesarios tanto en mi paso por ésta Casa Superior de Estudios como para el desarrollo del presente trabajo.

A tod@s ell@s ¡Gracias totales!

Hugo Emmanuel Rodríguez Chico

DEDICATORIA

Esta tesis deseo dedicarla especialmente a Dios. A mi abuelita María Graciela Minchán Abanto. A mi madre Fanny Mabel Chico Minchán.

Ya que, gracias a su cariño, cuidado y apoyo brindado, hicieron posible que culmine satisfactoriamente mi carrera profesional y ahora el presente trabajo de investigación.

Hugo Emmanuel Rodríguez Chico.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvii
RESUMEN	xix
ABSTRAC	xxi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACION	3
1.5. DELIMITACIÓN Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION	4
1.5.1. DELIMITACIÓN	4
1.5.2. LIMITACIONES	4
1.6. OBJETIVOS	4
1.6.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.7. HIPÓTESIS GENERAL	5
1.8. DEFINICIÓN DE VARIABLES	5
1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	5
1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE	5

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	3
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	4
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS	4
2.2.1. CONCRETO U HORMIGÓN TRADICIONAL.....	4
2.2.2. LEYES QUE RIGEN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO	5
2.2.2.1. LEY DE ABRAMS	5
2.2.2.2. LEY DEL CEMENTO	5
2.2.2.3. LEY DE TEMPERATURA.....	5
2.2.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO	5
2.2.3.1. EN ESTADO FRESCO	5
2.2.3.2. EN ESTADO ENDURECIDO	7
2.2.4. CONCRETO U HORMIGÓN PREFABRICADO.....	8
2.2.4.1. VENTAJAS DEL CONCRETO PREFABRICADO	8
2.2.5. CONCRETO U HORMIGÓN LIGERO.....	9
2.2.5.1. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DEL CONCRETO LIGERO.	10
2.2.6. CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO	21
2.2.6.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	21
2.2.6.2. DEFINICIÓN	21
2.2.6.3. VENTAJAS.....	22
2.2.6.4. DESVENTAJAS	24

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA O ESPACIAL DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.1.2. UBICACIÓN TEMPORAL DE LA INVESTIGACIÓN	27
3.1.3. RECURSOS, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	27
3.1.4. MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN	28
3.1.5. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	34
3.1.6. POBLACION	34
3.1.7. MUESTRA.....	34
3.1.8. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
3.1.9. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
3.1.10. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	35
3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	36
3.2.1. AGREGADO FINO	36
3.3. POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS).....	58
3.3.1. INTRODUCCION	58
3.3.2. CONCEPTO.....	59
3.3.3. ANTECEDENTES.....	59
3.3.4. PROCESO DE FABRICACIÓN	60
3.3.5. CAMBIO DE VOLUMEN Y DENSIDAD DEL EPS POR TRATAMIENTO TÉRMICO.....	60
3.3.6. PROPIEDADES DEL MEPS.	62

3.3.7.	PREPARACIÓN Y OBTENCIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO	63
3.4.	CEMENTO.....	65
3.4.1.	CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO PORTLAND.....	65
3.4.2.	FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO	66
3.4.3.	ESTRUCTURA DE MERCADO Y GRADO DE CONCENTRACIÓN INDUSTRIAL.....	67
3.5.	AGUA.....	68
3.5.1.	AGUA DE LAVADO DE AGREGADOS	68
3.5.2.	AGUA DE AMASADO O MEZCLADO.....	68
3.5.3.	AGUA DE CURADO	68
3.6.	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIGERO A BASE POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	70
3.6.1.	DATOS PRELIMINARES	71
3.6.1.1.	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.....	71
3.6.2.	DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.	72
3.6.3.	PROCESO DE ELABORACIÓN.....	75
3.6.4.	RESULTADOS DE LA DOSIFICACIÓN.....	76
3.6.4.1.	DOSIFICACIÓN PARA DENSIDAD APARENTE DE 1200 KG/CM ³	76
3.6.4.2.	DOSIFICACIÓN PARA DENSIDAD APARENTE DE 1400 KG/CM ³	77
3.6.4.3.	DOSIFICACIÓN PARA DENSIDAD APARENTE DE 1600 KG/CM ³	78
3.6.5.	ESPECIFICACIONES DE ESPECIMENES DE ENSAYO	79
3.6.6.	CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO	80

3.7.	ENSAYOS DEL CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO DE EXPANDIDO.....	81
3.7.1.	CONSISTENCIA O FLUIDEZ DE LA MEZCLA	81
3.7.2.	CONTENIDO DE AIRE.....	84
3.7.3.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	87
3.7.4.	MÓDULO DE ELASTICIDAD	89
3.7.5.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.....	90
3.8.	DISEÑO Y ELABORACION DE BLOQUES DE CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO	92
3.8.1.	DOSIFICACIÓN ÓPTIMA	93
3.8.2.	DIMENSIONES DEL BLOQUE.....	94
3.8.3.	PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN	95
3.8.4.	CURADO.....	96
3.8.5.	ALMACENAMIENTO.....	96
3.9.	ENSAYOS EN BLOQUES DE CONCRETO LIGERO	96
3.9.1.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.....	96
3.9.2.	COMPRESIÓN SIMPLE DE UNIDADES	98
3.9.3.	RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN.....	100
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		104
4.1.	ELECCION DEL TIPO DE ARENA.....	104
4.2.	ANÁLISIS DE LA CONSISTENCIA DE LA MEZCLA	105
4.3.	ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE DE MEZCLA .	106
4.3.1.	PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO Y CONTENIDO DE AIRE	106
4.3.2.	PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO.....	107
4.4.	ANÁLISIS DE ENSAYOS REALIZADO EN ESPECIMENES CÚBICOS.....	109

4.4.1.	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN	109
4.4.2.	ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD	111
4.4.3.	ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	112
4.5.	ANÁLISIS DE ENSAYOS REALIZADOS EN BLOQUES DE CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO	114
4.5.1.	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	114
4.5.2.	ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE BLOQUES	116
4.5.3.	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXION	117
4.5.4.	ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN	119
4.6.	ANÁLISIS TECNICO Y ECONOMICO	119
4.7.	CONTRASTE DE LA HIPOTESIS	122
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		124
5.1.	CONCLUSIONES	124
5.2.	RECOMENDACIONES	125
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		127
6.1.	TESIS	127
6.2.	LIBROS Y PUBLICACIONES	127
6.3.	NORMAS NTP	130
6.4.	NORMAS Y REGLAMENTOS INTERNACIONALES	131
CAPÍTULO VII. ANEXOS		134
7.1.	ANEXO I: PROPIEDAD DE FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA ARENA	134

7.2.	ANEXO II: DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	146
7.3.	ANEXO IV: RESULTADOS DE ENSAYOS FISICO - MECANICOS EN CUBOS DE CONCRETO LIGERO.....	155
7.4.	ANEXO V: RESULTADOS DE ENSAYOS FISICO-MECANICOS EN BLOQUES DE CONCRETO LIGERO.....	161
7.5.	ANEXO VI: CURVAS REPRESENTATIVAS DE ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA ESPECIMENES CUBICOS	165
7.6.	ANEXO VII: CURVA REPRESENTATIVA DE ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA – BLQOUES DE CONCRETO LIGERO	171
7.7.	ANEXO VII: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO	173
7.8.	ANEXO VIII: FICHA TÉCNICA DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO UTILIZADO.....	174
7.9.	ANEXO IX: PANEL FOTOGRAFICO	175

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla n° 1: Operacionalización de variables.....	1
Tabla n° 2: Clases de mezclas según su asentamiento.	6
Tabla n° 3: Tabla Conductividad térmica v/s densidad aparente.	22
Tabla n° 4: Matriz de Consistencia del Trabajo de Investigación.....	29
Tabla n° 5: Ubicación Geográfica del Trabajo de Investigación.....	32
Tabla n° 6: Medida de las muestras.....	39
Tabla n° 7: Clasificación de las partículas según su forma.	41
Tabla n° 8: Clasificación de la textura superficial de los agregados - norma BS-812.	42
Tabla n° 9: Series normalizadas de tamices.	42
Tabla n° 10: Muestra de agregados para ensayo.	43
Tabla n° 11: Granulometría del agregado fino.	45

Tabla n° 12: Resultados del módulo de finura del agregado fino utilizado.	46
Tabla n° 13: Tamaño de la muestra.	48
Tabla n° 14: Resultados de ensayo de partículas menores al tamiz N° 200.	49
Tabla n° 15: Resultados de ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.	51
Tabla n° 16: Tamaño de la muestra para el agregado.	53
Tabla n° 17: Resultados del ensayo de contenido de humedad.	54
Tabla n° 18: Tamaño de la muestra para el agregado.	57
Tabla n° 19: Tabla comparativa de propiedades entre EPS y MEPS.	62
Tabla n° 20: Tabla comparativa de densidad entre EPS y MEPS.	65
Tabla n° 21: Resistencias de los cementos.	66
Tabla n° 22: Valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse en la preparación del concreto.	69
Tabla n° 23: Propiedades del agregado fino utilizado.	71
Tabla n° 24: Dosificación del Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido densidad de 1200 KG/CM ³	77
Tabla n° 25: Dosificación del Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido densidad de 1400 KG/CM ³	78
Tabla n° 26: Dosificación del Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido densidad de 1600 KG/CM ³	78
Tabla n° 27: Dosificación óptima para el diseño de bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido 1600 kg/m ³	93
Tabla n° 28: Dimensiones de los bloques de concreto para uso no estructural.	94
Tabla n° 29: Dimensiones de los bloques de concreto para uso no estructural.	94
Tabla n° 30: Requisitos de resistencia de bloques no estructurales	99
Tabla n° 31: Requisitos de resistencia de bloques estructurales	99
Tabla n° 32: Determinación del coeficiente de uniformidad.	105
Tabla n° 33: Resultados de diámetros de dispersión de la mezcla según la densidad del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido	105
Tabla n° 34: Resultados de peso unitario en estado fresco y contenido de aire de las mezclas de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido	107

Tabla n° 35: Resultados de peso unitario en estado endurecido especímenes cúbicos de Concreto Ligerio a base de Poliestireno expandido	108
Tabla n° 36: Promedio de las resistencias a la compresión de los diferentes especímenes cúbicos y densidades.....	110
Tabla n° 37: Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Ligerio, método ACI 318	111
Tabla n° 38: Promedio de resultados del ensayo de densidad y absorción de especímenes cúbicos de Concreto Ligerio a base de Poliestireno expandido.....	112
Tabla n° 39: Promedio de resultados del ensayo de resistencia a la compresión en bloques de Concreto Ligerio a base de Poliestireno expandido (BCL).....	115
Tabla n° 40: Promedio de módulos de elasticidad de bloques de Concreto Ligerio, método ACI 318	116
Tabla n° 41: Promedio de resultados del ensayo de resistencia a tracción por flexión en bloques de Concreto Ligerio a base de Poliestireno expandido (BCL)	117
Tabla n° 42: Resultados del ensayo de peso específico y absorción en bloques de Concreto Ligerio a base de Poliestireno expandido (BCL).....	119
Tabla n° 43: Costos de fabricación del bloque de Concreto Ligerio a base de Poliestireno expandido	120
Tabla n° 44: Costos de fabricación del bloque de Concreto Tradicional	120
Tabla n° 45: Costos de fabricación de muro de 09 cm de espesor con bloques de Concreto Liviano.....	121
Tabla n° 46: Costos de fabricación de muro de 09 cm de espesor con bloques de Concreto Tradicional.....	121
Tabla n° 47: Ensayos de partículas menores al tamiz N° 200 – Arena A	134
Tabla n° 48: Ensayos de partículas menores al tamiz N° 200 – Arena B	134
Tabla n° 49: Ensayos de partículas menores al tamiz N° 200 – Arena C	135
Tabla n° 50: Promedio de ensayos de granulometría de la arena “A” (para densidad de 1200 kg/m3).....	135
Tabla n° 51: Promedio de ensayos de granulometría de la arena “B” (para densidad de 1400 kg/m3).....	136

Tabla n° 52: Promedio de ensayos de granulometría de la arena “C” (para densidad de 1600 kg/m ³).....	137
Tabla n° 53: Densidad relativa de la arena A	139
Tabla n° 54: Densidad relativa de la arena B	140
Tabla n° 55: Densidad relativa de la arena C	141
Tabla n° 56: Peso específico del agua par ensayo de peso unitario del agregado fino	141
Tabla n° 57: Factor agua para ensayo de peso unitario del agregado fino	142
Tabla n° 58: Peso unitario del agregado fino “A” en estado seco suelto	142
Tabla n° 59: Peso unitario del agregado fino “A” en estado seco compactado	142
Tabla n° 60: Peso unitario del agregado fino “B” en estado seco suelto.....	143
Tabla n° 61: Peso unitario del agregado fino “B” en estado seco compactado.....	143
Tabla n° 62: Peso unitario del agregado fino “C” en estado seco suelto.....	143
Tabla n° 63: Peso unitario del agregado fino “C” en estado seco compactado.....	144
Tabla n° 64: Porcentaje de vacíos de la arena A	144
Tabla n° 65: Porcentaje de vacíos de la arena B	145
Tabla n° 66: Porcentaje de vacíos de la arena C	145
Tabla n° 67: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1200 kg/m ³	155
Tabla n° 68: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1400 kg/m ³	156
Tabla n° 69: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1600 kg/m ³	157
Tabla n° 70: Módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Ligero a los 07 y 14 días.....	158
Tabla n° 71: Módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Ligero a los 28 días	159
Tabla n° 72: Resultados de ensayos de absorción y peso específico en especímenes cúbicos de Concreto Ligero.....	160
Tabla n° 73: Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Ligero a los 7 días.....	161

Tabla n° 74: Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Ligeró a los 14 días.....	161
Tabla n° 75: Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Ligeró a los 28 días.....	162
Tabla n° 76: Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Ligeró a los 07 días.....	162
Tabla n° 77: Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Ligeró a los 14 días.....	163
Tabla n° 78: Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Ligeró a los 28 días.....	163
Tabla n° 79: Módulos de elasticidad de bloques de Concreto Ligeró a los 07, 14 y 28 días .	164
Tabla n° 80: Resultados de ensayos de absorción y peso específico en bloques de Concreto Ligeró	165
Tabla n° 81: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen ($D_a = 1200 \text{ kg/m}^3$).....	165
Tabla n° 82: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen ($D_a = 1400 \text{ kg/m}^3$).....	167
Tabla n° 83: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen ($D_a = 1600 \text{ kg/m}^3$).....	169
Tabla n° 84: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen ($D_a = 1600 \text{ kg/m}^3$).....	171

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura n° 1: Curva Esfuerzo-Deformación para el hormigón.	8
Figura n° 2: Agente espumígeno formado en la elaboración de concreto celular aireado	12
Figura n° 3: Cúpula de Panteón.....	13
Figura n° 4: Ubicación del Puente de Raftsundet.....	14
Figura n° 5: Representación artística de la Plataforma Hibernia	15
Figura n° 6: Piedra pómez	16
Figura n° 7: Escoria volcánica.....	16
Figura n° 8: Vermiculita.....	17
Figura n° 9: Arcilla expandida	18
Figura n° 10: Poliestireno expandido.	19
Figura n° 11: Concreto sin finos.....	20
Figura n° 12: Ubicación geográfica del lugar donde se desarrolló la investigación.	26
Figura n° 13: Fotografía Satelital de la ubicación geográfica de la investigación	32
Figura n° 14: Ubicación geográfica de la planta de chancado “La Victoria” – cantera del río Chonta.....	33
Figura n° 15: Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto....	36
Figura n° 16: Cantera la Victoria.....	38
Figura n° 17: Selección del agregado fino para ensayos	40
Figura n° 18: Muestreo por el método del cuarteo del agregado fino.	40
Figura n° 19: Equipo de ensayo para granulometría del agregado fino	47
Figura n° 20: Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino	52
Figura n° 21: Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino.....	57
Figura n° 22: Poliestireno expandido.	59
Figura n° 23: Proceso de Producción de Poliestireno Expandido Modificado.	60
Figura n° 24: Comparación de Volúmenes Antes y Después del Tratamiento.	61
Figura n° 25: Resultado de placas de MEPS según temperaturas.....	61
Figura n° 26: Muestras de EPS antes (a) y después (b) del tratamiento térmico.	64
Figura n° 27: Zonas de influencia geográfica de las empresas cementeras.	67

Figura n° 28: Cemento Pacasmayo TIPO I	68
Figura n° 29: Proceso de elaboración del Concreto Ligero a Base de Poliestireno Expandido	76
Figura n° 30: Especímenes de Concreto Ligero de 100mm x 100mm x 100mm.....	80
Figura n° 31: Proceso de curado de especímenes de concreto ligero a base de poliestireno expandido	81
Figura n° 32: Ensayo de fluidez del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido.....	84
Figura n° 33: Ensayo de densidad de masa del Concreto Ligero	87
Figura n° 34: Ensayo de resistencia a la compresión en cubos de Concreto Ligero	89
Figura n° 35: Medición de deformaciones en especímenes cúbicos de Concreto Ligero	90
Figura n° 36: Densidad y absorción del especímenes cúbicos de Concreto Ligero	92
Figura n° 37: Moldes metálicos de 09x19x39 cm para elaborar los bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido.....	95
Figura n° 38: Proceso de elaboración de los bloques de Concreto Ligero	95
Figura n° 39: Almacenamiento de bloques de Concreto Ligero	96
Figura n° 40: Ensayo de densidad y absorción de bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido	98
Figura n° 41: Ensayo de resistencia a la compresión-bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido	100
Figura n° 42: Ensayo de resistencia a tracción por flexión en bloque de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido.....	102
Figura n° 43: Ensayo de consistencia del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido	106
Figura n° 44: Ensayos de resistencia a la compresión de especímenes cúbicos con diferentes dosificaciones	111
Figura n° 45: Ensayo de resistencia a la compresión simple en boques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido a la edad de 28 días	116
Figura n° 46: Ensayo de resistencia a la tracción por flexión- boque CLP-07 a la edad de 07 días	118
Figura n° 47: Selección de agregado fino para ensayos.	175
Figura n° 48: Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino.....	175
Figura n° 49: Ensayo de densidad relativa del agregado fino	176

Figura n° 50: Colocación al horno del poliestireno expandido para alcanzar la densidad deseada	176
Figura n° 51: Elaboración de concreto ligero a base de poliestireno expandido.....	177
Figura n° 52: Ensayo de fluidez del Concreto Celular	177
Figura n° 53: Vaciado de Concreto Ligero en los moldes metálicos	178
Figura n° 54: Almacenamiento y curado de especímenes de concreto celular	178
Figura n° 55: Ensayo de compresión de especímenes cúbicos de concreto Ligero	179
Figura n° 55: Ensayo de compresión en bloques de Concreto Ligero	179
Figura n° 53: Ensayo de tracción por flexión en bloques de Concreto Ligero.....	180

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico n° 1: Dosificación del Concreto Ligero para densidad aparente de 1200 Kg/m ³	77
Gráfico n° 2: Dosificación del Concreto Ligero para densidad aparente de 1400 Kg/m ³	78
Gráfico n° 3: Dosificación del Concreto Ligero para densidad aparente de 1600 Kg/m ³	79
Gráfico n° 4: Peso unitario en estado endurecido especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido	109
Gráfico n° 5: Promedio de las resistencias a la compresión de las diferentes dosificaciones para la densidad aparente de 1200 [Kg/m ³], 1400 [Kg/m ³] y 1600 [Kg/m ³]	110
Gráfico n° 6: Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido, método ACI 318.....	112
Gráfico n° 7: Promedio de resultados del ensayo de absorción de especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido	113
Gráfico n° 8: Promedio de resultados del ensayo de peso específico de especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido	114
Gráfico n° 9: Promedio de resultados del ensayo de resistencia a la compresión en bloques de Concreto Ligero (BCL)	115
Gráfico n° 10: Promedio de módulos de elasticidad de bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido, método ACI 318.....	117

Gráfico n° 11: Ensayo de resistencia a la compresión simple en boques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido a la edad de 28 días	118
Gráfico n° 12: Resultados de la curva granulometría de la arena A.....	136
Gráfico n° 13: Resultados de la curva granulometría de la arena B.....	137
Gráfico n° 14: Resultados de la curva granulometría de la arena C.....	138
Gráfico n° 15: Curvas de los promedios de las arenas A, B y C.....	138
Gráfico n° 16: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen ($D_a = 1200 \text{ kg/m}^3$)	166
Gráfico n° 17: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen ($D_a = 1400 \text{ kg/m}^3$)	168
Gráfico n° 18: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen ($D_a = 1600 \text{ kg/m}^3$)	170
Gráfico n° 19: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen ($D_a = 1600 \text{ kg/m}^3$)	172

RESUMEN

La principal característica del concreto u hormigón liviano es su menor peso propio respecto al concreto tradicional, y esta propiedad le da ciertas ventajas al rubro de la construcción.

Sin embargo, presenta una gran dificultad en la elaboración de dicho concreto, debido a que todavía en Perú no existe una normativa ni dosificación válida, no obstante, se han investigado las propiedades mecánicas obteniendo no tan bajos resultados en la resistencia a la compresión. Estas referencias me han motivado a estudiar elementos elaborados con este material, como, por ejemplo: bloques de concreto liviano.

La siguiente investigación tiene como tema central la determinar las propiedades físico - mecánicas del concreto liviano a base de poliestireno expandido para la elaboración de bloques de hormigón liviano, los que son confeccionados conforme a una dosificación para un mortero tradicional, que, a tiempo de ser mezclados el cemento, el agregado fino y agua, se agrega poliestireno expandido en reemplazo de la grava.

Se elaborará probetas estándar de concreto liviano a base de poliestireno expandido en moldes cúbicos obteniendo propiedades del concreto liviano en estado fresco y endurecido, midiéndose su trabajabilidad para hallar la cantidad de agua en cada tanda. También se medirá la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días para las dosificaciones de: 1200 kg/m³, 1400 kg/m³ y 1600 kg/m³ en donde se variará la relación a/c para llegar a una dosificación óptima y así con esta dosificación elaborar las unidades de albañilería de acorde a las normas pertinentes.

Transcurridos 28 días, los bloques elaborados con la dosificación de 1600 kg/m³ son sometidos a ensayos de resistencia a la compresión, absorción y humedad, como lo establece la NTP 399.600, NTP 399.602 y NTP 399.604, para bloques tradicionales de uso estructural y no estructural, obteniéndose una resistencia a la compresión favorable de 6.15 MPa (62.75 kg/cm²)

Finalmente, se realizó un análisis de aumento del costo de los bloques livianos elaborados, este incremento de costo es debido únicamente al precio actual de venta de las perlitas de poliestireno expandido. Sin embargo, el mayor costo del agregado liviano es compensado con el ahorro en transporte, el aumento en el rendimiento en la ejecución de los trabajos y debido a que no requiere de acabados, por lo tanto, se obtienen economías de tiempo y dinero al utilizar bloques con estas características.

El trabajo de investigación está dividido en cinco capítulos, los cuales, de manera breve, se describen a continuación:

El capítulo primero “INTRODUCCIÓN”, es de carácter informativo sobre el contexto, el problema, la justificación o importancia de la investigación, así como sus alcances, objetivos e hipótesis.

El segundo capítulo “MARCO TEÓRICO”, corresponde a un resumen general de tecnología del Concreto y definición de algunos términos básicos; de tal manera de facilitarle al lector la comprensión de los capítulos posteriores. Así mismo se realiza el tratado de investigaciones anteriores relacionadas con el tema o problema en estudio con anotación de sus conclusiones más relevantes.

El capítulo tercero “MATERIALES Y MÉTODOS”, se indicará la ubicación geográfica donde se realizó la investigación, así como la época en la cual se enmarca, los diferentes recursos empleados; y el procedimiento seguido para el desarrollo del trabajo de investigación.

El capítulo cuarto “ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS”, abarca la interpretación y explicación de los resultados finales obtenidos (porcentajes, tablas, cuadros, gráficos o figuras).

El capítulo quinto “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”, desarrolla las conclusiones de la investigación experimental para cada objetivo propuesto; y las recomendaciones, que sugieren la ampliación de algunos aspectos, así como la mejora en materiales y equipos para futuros estudios en este campo.

El capítulo sexto “REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS”, menciona las tesis, libros, publicaciones y normas de las cuales se agenció este trabajo de investigación.

En el capítulo séptimo “ANEXOS”, se adjunta tablas, gráficos, hojas de cálculos y documentos de importancia que se menciona en este trabajo de investigación.

Como complemento tenemos las secciones de: aspectos preliminares (carátula, agradecimiento, dedicatoria, contenido, índice de tablas y gráficos), un resumen (abstrac), referencias bibliográficas y los anexos (figuras, tablas, gráficos, fotos).

Palabras Clave: concreto liviano, perlitas de poliestireno expandido, bloques estructurales.

ABSTRAC

The main characteristics of lightweight concrete is its low weight compared to traditional concrete itself, and this property gives certain advantages to the field of construction.

However, it presents a great difficulty in drawing up the concrete, because in Perú is still no legal or valid dose, however, have investigated the mechanical properties making is not so low on the compressive strength as might expect. These references have led me to consider items prepared with this material, such as lightweight concrete blocks.

The following research is to focus the development of lightweight concrete blocks based on polystyrene, which are made pursuant to a dosage for a traditional concrete, which in time to be mixed cement, fine aggregate and water, polystyrene added to replace the gravel.

Will be developed standard lightweight concrete specimens based on polystyrene expanded in cubic molds, obtaining lightweight concrete properties in fresh and hardened state, measuring their workability to find the amount of water in each walk. The compressive strength at 7, 14 and 28 days for three different dosages: 1200 kg/m³, 1400 kg/m³ y 1600 kg/m³ wherein the ratio a / c is varied to reach an optimal dosage and dosage and with this elaborate masonry units according to the standards will also be measured relevant.

After 28 days, the processed blocks are submitted for testing resistance to compression, moisture absorption and, as required by NTP 399.600, NTP 399.602 and NTP 399.604 for traditional blocks, obtaining a favorable resistance to compression of 6.15 MPa (62.75 kg/cm²)

Finally, will be an analysis of rising cost of lightweight blocks, this increased cost is due only to the current selling price of the bead of expanded polystyrene. However, the increased cost of lightweight aggregate is offset by savings in transportation costs, increased performance in the execution of the work and because they do not require without finishing, therefore, you get economies of time and money by using blocks with these characteristics.

The research work is divided into five chapters, which are briefly described below:

The first chapter "INTRODUCTION" is informative about the context, problem, justification and importance of research, as well as its scope, objectives and hypotheses.

The second chapter "THEORETICAL FRAMEWORK" corresponds to a general summary of Concrete technology and definition of several basic terms; In such a way to facilitate to the

reader the understanding of the later chapters. Likewise, the treaty of previous researches related to the subject or problem being studied is carried out with an annotation of its most relevant conclusions.

The third chapter, "MATERIALS AND METHODS", identifies the geographic location where the research is carried out, as well as the period in which it is framed, the different employees; And the procedure followed for the development of research work.

The fourth chapter "ANALYSIS AND DISCUSSION OF RESULTS", covers the interpretation and explanation of the final results obtained (percentages, tables, charts, graphs or figures).

The fifth chapter "CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS" develops the conclusions of the experimental research for each proposed objective; And the recommendations, which suggest the widening of the details, as well as the improvement in materials and equipment for future studies in this field.

The sixth chapter "BIBLIOGRAPHIC REFERENCES", the theses, the books, the publications and the norms of which this research work was done.

In the seventh chapter "ANNEXES", tables, graphs, spreadsheets and documents of importance are included that are mentioned in this research work.

As a complement we have the sections: preliminary (cover, thanks, dedication, index, index of tables and graphics), a summary (abstrac), bibliographical references and annexes (figures, tables, graphs, photos).

Keywords: lightweight concrete, expanded polystyrene beads, building blocks

CAPÍTULO I



INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto liviano o de baja densidad se fabrica en varios países, como mezcla de cemento, arena y un agregado liviano (alive), que en nuestro caso será poliestireno expandido (tecknopor), que le da la característica de ligereza a la mezcla. Los bloques de concreto convencionales son utilizados en diversas zonas del país de manera artesanal y frecuentemente sin el aporte técnico adecuado.

En la actualidad, el ladrillo cerámico de arcilla se presenta como el material más utilizado para la autoconstrucción debido, en algunos casos, a su disponibilidad y a que el poblador que labora en la construcción está familiarizado con las tareas de albañilería de muros portantes y no portantes; sin embargo en otros casos significa factores desfavorables, como por ejemplo cuando la obra se encuentra en sitios alejados de los centros de producción, el transporte del material encarece el costo de la construcción; en otras situaciones se presenta limitada disponibilidad de materiales y equipamientos (hornos) como para fabricar elementos de calidad; así mismo puede considerarse con criterios de impacto ambiental la utilización ventajosa de recursos locales. Un material como el poliestireno, no dañino para el medio ambiente, liviano que sirve como material constructivo y que también tiene aislamiento térmico, acústico y resistencia a fuego y termitas; entonces nos vemos en la necesidad de conocer las propiedades físico - mecánicas del concreto ligero a base de poliestireno para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural, esto implica conocer la dosificación óptima y conocer también si estas propiedades cumplen con los estándares planteados en la normativa peruana vigente.

Se puede compensar por el costo más alto del material por costos más bajos de mano de obra, acabado, mantenimiento y energía. El reemplazo de agregado grueso por poliestireno expandido y el efecto de rodamiento producido por los materiales proporcionan una buena consistencia al concreto liviano. No es necesaria la vibración cuando se vacía, ya que el sistema de concreto liviano se distribuye uniformemente y llena todos los espacios completamente con la misma densidad en el elemento.

En todas estas situaciones es que se plantea la utilización de bloques de concreto liviano a base de poliestireno expandido como alternativa de abaratamiento de una

vivienda segura y de satisfactoria calidad, para lo cual surge el problema de conocer las propiedades físico - mecánicas de este concreto liviano para la posterior fabricación de unidades de albañilería no estructural.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas del concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural?

1.3.JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente proyecto se presenta con el motivo de brindar mayor información sobre este tipo de concreto liviano debido a que en nuestra localidad no se encuentra información sobre este tipo de concreto, que como hemos venido mencionando cuenta con propiedades muy favorables para la construcción de elementos de albañilería no estructurales.

Asimismo, es importante contar con información del uso de este tipo de concreto en la elaboración de bloques de concreto usado en albañilería no estructural, así como de estructuras secundarias en edificios y viviendas como por ejemplo en un voladizo que debido a la baja densidad de este concreto disminuye considerablemente la carga muerta del elemento.

1.4.ALCANCES DE LA INVESTIGACION

Lo que propone este trabajo de investigación es realizar un estudio experimental que permita definir las propiedades físicas y mecánicas de bloques prefabricados de concreto liviano a base de poliestireno expandido que cumplan las especificaciones de la norma técnica peruana, prefabricando dichos bloques de concreto, con materiales locales utilizando moldes de madera, de una manera fácil y sencilla, con la finalidad de que sirva como base para empezar a emplear este tipo de concretos livianos en elementos no estructurales en la construcción, así como en futuros estudios referentes a concretos especiales en la construcción, a alumnos, docentes y personas interesadas en el tema.

Esta investigación está dirigida a los miembros de la comunidad científica, representantes del rubro de la construcción civil, como las empresas constructoras, ingenieros, maestros de obra, albañiles y demás personas afines de la ciudad de Cajamarca. Asimismo, está dirigida a estudiantes que desean continuar con la investigación a la que se evoca esta tesis.

1.5.DELIMITACIÓN Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

1.5.1. DELIMITACIÓN

La investigación se realizará dentro del territorio peruano en la ciudad de Cajamarca utilizando agregados de la cantera “La Victoria”, ubicada en el Km 2.7 de la carretera Cajamarca-Jesús, Cemento Portland Tipo I y agua usada en el campus universitario de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Se usará para la fabricación de los bloques de concreto liviano a base de poliestireno expandido.

Esta tesis se inició en Setiembre del año 2015, por lo que la información obtenida del reglamento tanto de las Normas Técnicas Peruanas, Normas ASTM o recomendaciones del ACI, pueden variar con respecto a los años siguientes.

Todos los ensayos serán realizados en el laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.

1.5.2. LIMITACIONES

La presente investigación se limitará solo a estudiar las propiedades físicas y mecánicas del concreto liviano a base poliestireno en estado fresco y endurecido, así como la funcionalidad que se le puede otorgar en bloques de concreto para albañilería no estructural.

Los agregados que se utilizarán para este tipo de concreto liviano se obtendrán sólo de la Cantera la Victoria del rio Cajamarquino y el cemento a utilizar será el Tipo I.

La poca voluntad de las instituciones públicas y privadas de involucrarse para realizar estudios más amplios y encontrar alternativas que permitan industrializar la elaboración del ladrillo de concreto liviano, que en otros países se está haciendo debido al poco peso y que además es un material sumamente reciclable evitando un mayor impacto ambiental.

1.6.OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto liviano a base de poliestireno expandido.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proporcionar, mediante método experimental, la dosificación óptima de mezcla del concreto liviano a base de poliestireno expandido para condiciones locales de agregado fino y clima.
- Determinar las propiedades físicas del concreto liviano a base de poliestireno en estado fresco.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto liviano a base de poliestireno expandido en estado endurecido.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto liviano a base de poliestireno.
- Determinar el análisis de costos y beneficios que conlleva la prefabricación de bloques de concreto liviano a base de poliestireno expandido.
- Comparar costos y beneficios que conlleva la prefabricación de bloques de concreto liviano a base de poliestireno expandido frente a los costos y beneficios que conlleva la elaboración de ladrillos de concreto tradicional.
- Comparar el comportamiento del concreto liviano a base de poliestireno expandido frente al concreto convencional.

1.7.HIPÓTESIS GENERAL

“Las propiedades físico – mecánicas del concreto liviano a base de poliestireno en unidades de albañilería no estructural cumplen con la normativa peruana vigente y tiene una resistencia a la compresión mayor a 6.00 Mpa”.

1.8.DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Porcentajes de poliestireno en la dosificación del concreto liviano a base de poliestireno para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural.

1.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Propiedades físico-mecánicas de concreto liviano a base de poliestireno expandido para ser usado en unidades de albañilería no estructural.

Tabla n° 1: Operacionalización de variables.

OBJETIVO GENERAL: Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto liviano a base de poliestireno expandido.						
VARIABLES	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	SUB DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD
INDEPENDIENTE						
Porcentajes de poliestireno en la dosificación del concreto liviano a base de poliestireno para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural.	CUANTITATIVA DISCRETA	Se medirán la cantidad de poliestireno a utilizar en las diferentes dosificaciones para la elaboración de unidades de albañilería no estructural		-	Peso	%
DEPENDIENTES						
Propiedades físico-mecánicas de concreto liviano a base de poliestireno expandido para ser usado en unidades de albañilería no estructural.	CUALITATIVA DICOTÓMICA	Se determinarán para la propiedades físicas y mecánicas del concreto liviano a base de poliestireno expandido en estado fresco y endurecido tanto en especímenes cúbicos y bloques	PROPIEDADES FÍSICAS	Consistencia o fluidez de mezcla	Longitud	cm
				Contenido de Aire	Peso Volumen	%
				Contenido de Humedad	Peso Volumen	%
				Contenido de absorción	Peso Volumen	%
				Peso unitario en estado fresco	Peso Volumen	kg/m ³
				Peso unitario en estado endurecido	Peso Volumen	kg/m ³
			PROPIEDADES MECÁNICAS	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	Carga Área	kg/cm ²
				RESISTENCIA A LA FLEXO - TRACCIÓN	Carga Área	kg/cm ²
				MODULO DE ELASTICIDAD	Carga Área	kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II



MARCO TEÓRICO

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1.ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

En esta parte se presentan algunas investigaciones realizadas que guardan relación con este trabajo, con una antigüedad no mayor de 10 años, las cuales sirvieron como base para la realización del mismo. Entre dichos antecedentes encontramos:

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Quezada Quezada, Patricio Esteban (2010). *Estudio técnico y económico para la elaboración de bloques de hormigón liviano en base a poliestireno expandido*. (Tesis de titulación, Universidad de Talca). Recuperado de <http://dspace.otalca.cl:8888/ingenieria/construccion/61196.pdf>.

Según los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión de los bloques de concreto ligero a base de poliestireno a la edad de 28 días, se determinó una resistencia promedio de 47.63Kg/cm² asimismo se logró un bloque con un peso 25,7% menor al de un bloque tradicional con absorción de agua de 152,3 kg/m³ y una humedad no mayor al 2,2% cumpliendo la normatividad de Chile.

Luego de haberse realizado los ensayos pertinentes se llegó a la conclusión de que los bloques fabricados con concreto ligero a base de poliestireno cumplen con la normatividad y su costo se puede compensar con mejores rendimiento y ahorro en el costo de transporte.

- Valdez Guzmán, Luis Fernando (2010). *Hormigones Livianos*. (Tesis de titulación, Escuela Superior Politécnica del Litoral). Recuperado de <http://core.ac.uk/download/pdf/12398629.pdf>.

Los resultados obtenidos para bloques de concreto ligero a base de poliestireno en este trabajo de investigación son los siguientes:

- Resistencia a la compresión a los 7 días: 4.5 Mpa.
- Resistencia a la compresión a los 14 días: 5.7 Mpa.
- Resistencia a la compresión a los 28 días: 6.6 Mpa.
- Densidad promedio: 1158 Kg/cm³
- Módulo de Elasticidad promedio: 9.19 Gpa.

En este trabajo de investigación se concluyó que los bloques de concreto liviano presentan con propiedades acústicas, térmicas y de gran resistencia al fuego, así como ya es sabido de su ligero peso.

Lo que se propone el presente trabajo de investigación es superar estos resultados obtenidos o por lo menos igualarlos.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

- Néstor Ninaquispe, Yuri (2010). *Uso del concreto celular en unidades de albañilería no Estructural*. (Tesis de titulación, Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de http://anfocal.org/media/.../Concretos.../Concreto_celular_con_Cal._2010.pdf

En esta tesis se utilizó como agregado liviano al polvo de aluminio, lográndose obtener, con una dosificación de mezcla Cemento: 2, Arena Fina: 1 Cal: 0.5 y con 1% del peso del cemento de polvo de aluminio, una resistencia promedio a la compresión de 51.43 Kg/cm² a los 28 días, asimismo se obtuvo un 6% en costo con referencia a un ladrillo tradicional King Kong.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

En el ámbito local no se cuenta con este tipo de tesis, como referencia se puede nombrar al Bach. Lenin Pedro Zamora Terrones que viene elaborando en el laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca una tesis similar que consiste en la evaluación de concreto celular a base de polvo de aluminio para ser usado en albañilería no estructural.

2.2.BASES TEÓRICAS

Como base para el desarrollo y comprender más a fondo la presente investigación, se exponen algunos temas y términos fundamentales.

2.2.1. CONCRETO U HORMIGÓN TRADICIONAL

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

Se ha definido con acierto al hormigón como un pseudosólido elasto-viscoplástico, 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). No extrañará esta complejidad si se recuerda que en el hormigón coexisten la fase sólida (áridos y cemento), la líquida (agua) y la gaseosa (aire ocluido). (Jiménez, García, & Morán, 2000, pág. 89).

2.2.2. LEYES QUE RIGEN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO

(Primi & León, 2012, pág. 31)

2.2.2.1. Ley de Abrams

La resistencia a la compresión de un concreto está en proporción inversa a la relación agua – cemento empleada. Esto significa que el concreto será mejor mientras menos agua se use en su preparación.

2.2.2.2. Ley del cemento

Mientras menos cemento se necesite para lograr una cierta resistencia, será mejor para todas las cualidades del concreto. Mas cemento causa mayor retracción y agrietamiento. El consumo de cemento, además afecta directamente el costo.

2.2.2.3. Ley de temperatura

Mientras más baja la temperatura del concreto fresco, será mejor para todas sus cualidades. El calor aumenta la demanda de agua y acelera el fraguado, por lo tanto el concreto será más difícil de compactar y posiblemente su resistencia será más baja.

2.2.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO

2.2.3.1. En estado fresco

A. Trabajabilidad, docilidad o manejabilidad (Abanto Castillo, pág. 47)

Facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones.

La trabajabilidad tiene relación con el contenido de cemento; con las características, granulometría, relación de los agregados finos-gruesos, y proporción del agregado; con la cantidad de agua y aire; con la presencia de aditivos; y con las condiciones ambientales. La fineza del cemento, determinada por su superficie específica, tiene influencia sobre la trabajabilidad. Los cementos de alta fineza la mejoran notablemente, pero pueden causar agrietamiento superficial en el secado. Se consideran

que las finezas del orden de 3300 cm²/gr son las más recomendables. (Rivva López, 1992, pág. 32)

Se recomienda para el porcentaje acumulado que pasa la malla N° 50 del 10% al 30%; y para el porcentaje acumulado que pasa la malla N° 100 del 2% al 10%. (Rivva López, 1992, pág. 32)

Las partículas chatas y alargadas tienen efecto negativo sobre la trabajabilidad y obligan a diseñar mezclas más ricas en agregado fino y por consiguiente a emplear mayores cantidades de cemento y agua. (Rivva López, 1992, pág. 33)

B. Consistencia o movilidad (Abanto Castillo, pág. 47)

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.

Tabla n° 2: Clases de mezclas según su asentamiento.

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD	MÉTODO DE COMPACTACIÓN
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera, chuseado
Fluida	> 5"	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: Abanto Castillo (s.f.)

La consistencia o movilidad se mide por diferentes métodos en los cuales se determina la deformación de un cono.

C. Exudación o sangrado

Ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos. Se presenta momentos después de que el concreto ha sido colocado en el encofrado.

Puede ser producto de una mala dosificación de la mezcla, exceso de agua en la misma, utilización de aditivos, a mayor temperatura mayor velocidad de exudación, etc. (Abanto Castillo, pág. 54)

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla No 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla.

No debe caerse en el error de considerar que la exudación es una condición anormal del concreto, ni en la práctica indiscriminada usual de “secar” el concreto espolvoreando cemento en la superficie mientras aún hay exudación, ya que se origina una capa superficial muy delgada de pasta que en la parte inferior tiene una interfase de agua que la aísla de la masa original. Si se espolvorea cemento cuando la exudación ha terminado, integrando la pasta con la mezcla original se logra reducir la relación a/c en la superficie con resultados positivos en cuanto a durabilidad al desgaste. (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 141).

2.2.3.2. En estado endurecido

A. Resistencia (Abanto Castillo, pág. 50)

Se emplea la resistencia a la compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades del concreto mejoran al incrementarse esta resistencia. La resistencia a la compresión de un concreto (f'_c) debe ser alcanzada a los 28 días, después de vaciado y realizado el curado respectivo. Los moldes para los ensayos deben ser de material impermeable, no absorbente y no reactivo con el cemento. Los moldes normalizados se construyen de acero; eventualmente se utilizan de material plástico duro, de hojalata y de cartón parafinado.

Las probetas se retirarán de los moldes entre las 18 y 24 horas después de moldeadas, para luego sumergirlas en agua para su curado.

- **Ley de Gilkey:** Para un cemento dado y agregados aceptables, la resistencia que puede ser desarrollada por una mezcla de cemento, agregados y agua, trabajable y adecuadamente colocable, bajo similares condiciones de mezclado, curado y ensayo, está influenciado por:
 - La relación del cemento al agua de la mezcla.
 - La relación del cemento al agregado.
 - La granulometría, textura superficial, perfil, resistencia y dureza de las partículas del agregado.
 - El tamaño máximo del agregado.

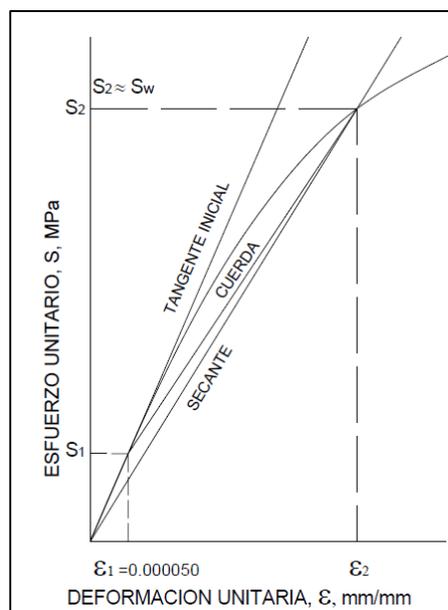
B. Elasticidad

El concreto no es un material completamente elástico y la relación esfuerzo-deformación para una carga en constante incremento adopta generalmente la forma de

una curva. Generalmente se conoce como Módulo de Elasticidad a la relación del esfuerzo a la deformación medida en el punto donde la línea se aparta de la recta y comienza a ser curva. Para el diseño estructural se supone un módulo de la elasticidad constante; en la práctica, es una magnitud variable cuyo valor promedio es mayor que aquel obtenido mediante una fórmula. (Rivva López, 1992, pág. 42)

El **Módulo de Elasticidad**, definido por la ecuación $E = \text{esfuerzo} / \text{deformación}$ es una medida de la rigidez, o sea la resistencia del hormigón a la deformación.

Figura n° 1: Curva Esfuerzo-Deformación para el hormigón.



Fuente: Quiroz Crespo et al. (2006)

2.2.4. CONCRETO U HORMIGÓN PREFABRICADO

El prefabricado, se refiere al proceso de construcción en el que un elemento de hormigón es confeccionado en un sitio diferente al de utilización, por lo general se realizan en una fábrica de prefabricados.

Según Parker y Ambrose 2001, una de las técnicas más utilizadas es la construcción de mampostería de bloques de hormigón.

2.2.4.1. Ventajas del concreto prefabricado

Existen varias razones para considerar el uso del hormigón prefabricado, a continuación, se mencionan las siguientes:

- **Trabajo más rápido en el sitio de colocación:** la construcción con hormigón prefabricado es más rápida que una construcción en el sitio, debido a que esta última requiere la colocación de moldaje, refuerzos, tiempo de fraguado, etc. Además, se pueden realizar paralelamente otras tareas y por ende disminuir el tiempo global de ejecución del proyecto.
- **Ahorros en la colocación de moldaje:** en el caso de las estructuras realizadas en el sitio, la mayor parte del costo lo presenta la colocación del moldaje, debido a la construcción del mismo, arriostamiento, apuntalamiento y mano de obra. En cambio, el concreto prefabricado permite mayores posibilidades de reutilización de moldaje y menor costo en la mano de obra, además de la utilización de tecnología para su confección.
- **Control de calidad:** en la confección de prefabricados de concreto, se garantiza una mayor precisión en la calidad y uniformidad de sus propiedades como es la densidad, y la resistencia, ya que los elementos manufacturados están normalizados, y sujetos a un estricto control de calidad, ventaja imprescindible para elementos estructurales de importancia como son los muros estructurales de una edificación.

2.2.5. CONCRETO U HORMIGÓN LIGERO

Se denomina concreto ligero u hormigón ligero a aquellos concretos cuya densidad es menor que la del concreto convencional o tradicional. La densidad de un concreto ligero puede variar de 300 kg/m^3 a 2000 kg/m^3 en comparación con el concreto convencional que tiene una densidad de alrededor de 2300 kg/m^3 a 2400 kg/m^3 . La menor densidad se logra a través del aire incorporado para inducir poros o huecos en las mezclas o mediante el uso de agregado de baja densidad. Citando a Mak et al (2007) nos sugiere que no existe un código estándar para la clasificación de concretos ligeros, por lo que la clasificación de concreto ligero se basa actualmente en su densidad, esto es porque en la mayoría de casos la resistencia y la densidad del concreto ligero están directamente relacionados.

De acorde al ACI 213R-14 se clasifica al concreto ligero de acuerdo a su densidad y aplicaciones como se muestra a continuación:

- **Concreto de baja densidad:** Este concreto de peso ligero tiene una densidad comprendida entre 300 kg/m^3 - 1000 kg/m^3 . Este tipo de concreto se utiliza para

partes no portantes de un edificio, tales como aislamientos y particiones. La resistencia de este concreto es inferior a 7 MPa y los áridos o agregados utilizados más comúnmente son vermiculita y perlita.

- **Concreto de densidad media:** Este tipo de concreto tiene una densidad de alrededor de 1000 kg/m^3 - 1600 kg/m^3 . Los áridos que mayormente se utilizan para este concreto son la piedra pómez y escoria. Este tipo de concreto es generalmente un producto cementoso que puede ser utilizado como un material de soporte de carga. La resistencia mínima de este tipo de concreto es de alrededor de 17 MPa.
- **Concreto de alta densidad:** El rango de densidad de este tipo de concreto oscila entre 1600 kg/m^3 a 2200 kg/m^3 y cuyo uso es estructural, es decir se utiliza para elementos de soporte de cargas. Los agregados utilizados para la fabricación de este tipo de concreto ligero son principalmente escoria expandida, ceniza volante y la pizarra.

2.2.5.1. Métodos de obtención del concreto ligero.

La multiplicidad de tipos existentes dificulta la clasificación de los hormigones livianos en categorías y divisiones netamente diferenciadas en base a los distintos métodos de elaboración, ya que algunos utilizan simultáneamente varios de ellos.

Esencialmente existen tres procedimientos amplios que, en forma individual o simultánea, conducen a la elaboración de los distintos tipos de concretos livianos, a saber:

- **Concreto celular:** Formación de numerosas pequeñas celdas por incorporación de aire o gas en el seno de la masa del concreto fresco y su mantenimiento hasta que aquél se endurezca, a este tipo de concreto se le conoce con diversos tipos de nombres como: concreto aireado, espumoso o gasificado.
- **Concreto con agregados livianos:** Utilización de agregados livianos de baja densidad relativa aparente, que puede ser origen natural, volcánico (piedra pómez, escoria celular, arcillas expandidas, betonita) o artificiales (perlita, vesiculita), agregados plásticos (bolas de poliestireno expandido) en reemplazo de agregado normal, el concreto resultante se conoce generalmente con el nombre de agregado ligero empleado.
- **Concreto sin finos:** Realización de grandes huecos por la supresión de los elementos finos del agregado, el cual tendrá una granulometría uniforme, generalmente se emplea agregado grueso de peso normal.

A. Concreto celular

Los hormigones celulares son en realidad morteros celulares formados generalmente por cemento, agua, arena fina o molida y un producto capaz de crear un gran volumen de burbujas de gas dentro de la masa de dicho mortero. Existen dos tipos de hormigones celulares: los gaseados y los espumados.

Un medio de obtener concreto ligero es introducir burbujas de gas dentro de la mezcla fluida de cemento y arena para producir un material de estructura celular bastante similar al hule espuma, que tenga celdas de tamaño entre 0.1 y 1 mm.

La piel de las celdas debe ser capaz de resistir el mezclado y la compactación. Por esta razón, el concreto resultante se conoce como concreto celular o aireado.

Hablando estrictamente, en este caso el término concreto es inapropiado, ya que la mezcla no suele contener agregado grueso (Luzardo & Arraga, 2004).

Existen dos métodos básicos para producir la aireación, dándose un nombre apropiado al producto final de cada uno.

- **Concreto gasificado:** Reacción química de una base alcalina (cal y cemento), con un ácido, para liberar gas que se incorporan al mortero fresco permitiendo que la masa se expanda sin dejar que el gas se escape.
- **Concreto con espuma:** Introducción de burbujas de aire al interior del mortero, por medio de espuma preformada de origen sintético u origen proteico.

Las burbujas permanecen estables y mantienen su forma durante todo el proceso de fijación y se convierten en células de aire discretos en la matriz de cemento. La presencia de burbujas de aire da al concreto aireado la propiedad de peso ligero.

Los primeros intentos para producir concretos ligeros, datan de finales del siglo XIX, la incorporación de aire a la masa de hormigón, método patentado por el checoslovaco, E. Hoffman en 1989, se lo hacía por medio de dióxido de carbono, generado al reaccionar ácido clorhídrico con piedra caliza.

a. Concreto celular gaseoso

Los elementos esenciales que intervienen en su elaboración son: cemento, agua y una sustancia que produzca desprendimiento de gas.

La cantidad de polvo de aluminio necesaria para elaborar un hormigón gaseoso de peso específico determinado depende – a igualdad de los demás factores, del tamaño de sus granos. En general, dicha cantidad oscila entre 0,25 y 0,50% del peso del cemento.

La reacción química básica que tiene lugar como resultado de la incorporación del polvo de aluminio a la mezcla es la siguiente:



b. Concreto celular aireado

En la elaboración de hormigones de espuma han sido utilizados los siguientes tipos de agentes espumígenos:

- detergentes
- jabones resinosos y colas animales o vegetales
- saponina (producto glucósido contenido en la saponaria, planta cariofilea)
- sulfo – ácidos de la naftalina (estabilizados, por ejemplo, con geles de sílice)
- resinas vinílicas
- proteínas hidrolizadas, etc.

Para elaborar el concreto celular aireado existen básicamente dos métodos ampliamente utilizados, el primer método de ellos consiste en la adición de un aditivo espumígeno de alto poder de concentración, el cual se adiciona directamente a la mezcla de concreto o mortero celular, el aditivo al mezclarse con los demás materiales atrapa cierto porcentaje de aire, entre más veces gire el mezclador, más aire atrapa. El segundo consta en colocar a la mezcla espuma preformada, densa y de alta estabilidad, esta espuma es previamente elaborada mediante un aparato llamado generador, como es de suponer.

Figura n° 2: Agente espumígeno formado en la elaboración de concreto celular aireado



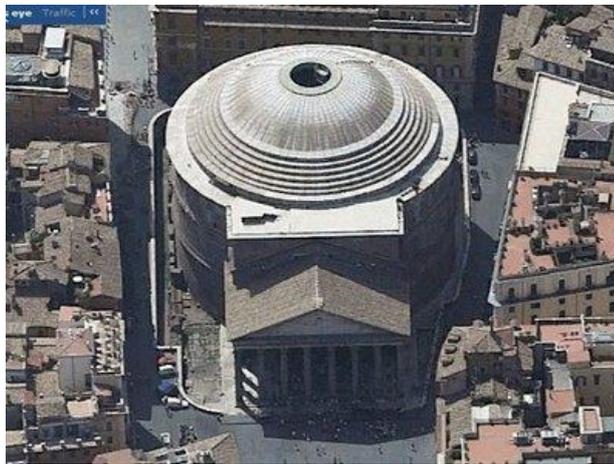
Fuente: <http://chimborazo.evisos.ec/>

B. Concreto con agregados livianos.

El concreto normal presenta el inconveniente de su elevada densidad que penaliza los pesos propios de la estructura. Por ello, en distintas épocas se ha buscado hacerlo más ligero, con la utilización de agregados ligeros, naturales o artificiales.

Hay precedentes históricos como la cúpula del Panteón, en Roma, del siglo II a.c., de 44 m de diámetro, en donde se empleó piedra pómez como agregado de la mezcla. Pasando a nuestra época, en 1917 ya se produjeron en Estados Unidos agregados ligeros en hornos rotatorios por expansión de arcillas y pizarras que, entre otras cosas, se emplearon en calzadas de puentes y cascos de buque, experimentando dicha tecnología un fuerte desarrollo en los años cincuenta, debido a la construcción de rascacielos.

Figura n° 3: Cúpula de Panteón.



Fuente: <http://felixrubioblog.blogspot.pe/>

El desarrollo en Europa de la fabricación de agregado ligero ha sido más lento aunque, en estos momentos, alcanza cotas de importancia. Aunque los agregados ligeros pueden ser naturales, los concretos ligeros se basan en agregados fabricados industrialmente, por expansión, en hornos de arcilla o pizarra, en general, con lo que se logran unas propiedades definidas y fiables.

La expansión crea un agregado que encierra cantidades variables de aire en su interior y que proporciona ligereza (densidades aparentes entre 300 y 800 kg/m^3) y elevados valores de aislamiento térmico y acústico. La ligereza de los agregados se traduce en la del concreto con ellos fabricado, que oscila entre 1000 y 2000 kg/m^3 para el concreto ligero estructural, alcanzando, sin embargo, resistencias elevadas que

permiten el pretensado e incluso su calificación de concreto de alta resistencia (> 50 MPa).

La fabricación de estos concretos precisa tener en cuenta, en lo que a dosificación respecta, los fenómenos de desecación por absorción de agua durante el mezclado, transporte y vertido, que afectarían la docilidad, aunque un exceso de agua perjudicaría el aislamiento térmico y podría permitir la flotación del agregado grueso, más ligero, debido a la vibración. El bombeo también es un tema para estudiar, debido a que la presión introduce agua de la mezcla en el agregado, secándola, con el peligro de que se forme una obstrucción en la tubería. Se necesita un curado más intenso que con el concreto normal, ya que el calentamiento de fraguado es mayor, debido a la menor masa presente y menor conductividad térmica.

a. Algunas obras civiles en las que se utilizaron concretos ligeros.

(hormigones livianos, pag. 04)

a.1. Proyecto del Puente de Raftsundet

El puente Raftsundet se encuentra localizado en el norte de Noruega al norte del círculo polar Ártico, el puente cruza una de las principales rutas de transporte marítimo entre dos islas de Lofoten, este tiene una longitud total de 711 m con un tramo principal de 298 m.

Fue el tramo de hormigón tipo cantiléver más largo del mundo cuando éstos fueron unidos en junio 24 de 1998. El puente fue abierto al tráfico el 6 de noviembre de ese mismo año.

Figura n° 4: Ubicación del Puente de Raftsundet



Fuente: <https://www.dspace.espol.edu.ec/>

a.2. Plataforma de petróleo Hibernia

El campo petrolero de Hibernia se encuentra a unos 315 km al sureste de St. John's, Terranova, Canadá. Una plataforma mar adentro se consideró necesario para aprovechar el recurso petrolero.

La base estructural de la plataforma tenía que soportar el hielo y deshielo, la abrasión, la acción del viento y las olas, y al ataque químico. Además, la gigantesca estructura estaba obligada a flotar, ser remolcado al sitio, y después de ser colocado, debía resistir el impacto de 5,5 millones de toneladas de témpano de hielo. Pesando más de 1,2 millones de toneladas, Hibernia Offshore Platform es la estructura flotante más grande que se ha construido en Norteamérica.

Figura n° 5: Representación artística de la Plataforma Hibernia



Fuente: <https://www.dspace.espol.edu.ec/>

b. Clasificación de agregados ligeros

Existe una gran diversidad de agregados livianos de distintas propiedades, características y origen, utilizados en la elaboración de concretos livianos, pudiendo ser clasificados éstos en dos grandes grupos, teniendo en cuenta el agregado que ha intervenido en su composición.

b.1. Agregados livianos naturales:

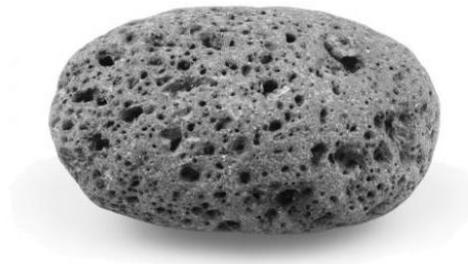
Provenientes de yacimientos minerales y utilizados directamente después de diversas operaciones de molido y clasificación.

Dentro de este grupo pertenecen los siguientes agregados livianos:

- **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.

Al estado natural se la encuentra en bancos de un metro o más de espesor, mezclada con cenizas volcánicas, detritos y esquistos, que deben ser eliminados por lavado y flotación, con lo que se reduce su peso específico aparente que, en estado seco, varía entre 500 y 700 kg/m^3 .

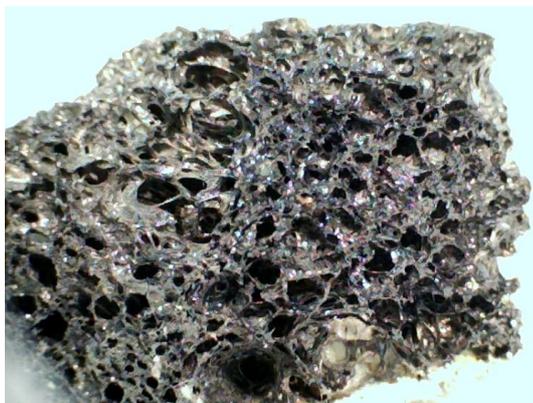
Figura n° 6: Piedra pómez



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^3 .

Figura n° 7: Escoria volcánica.



Fuente <http://www.foro-minerales.com/>

b.2. Agregados livianos artificiales:

Se generan mediante un proceso de industrialización

- **Vermiculita:** Mineral de aspecto micáceo que, desde el punto de vista de su composición química, es un alúmino – silicato de hierro y de magnesio. Por calentamiento a una temperatura que varía entre 700 y 1300° C puede sufrir una expansión de 30 a 35 veces su volumen inicial. Dicha expansión es debida a la liberación de vapor de agua por efecto del calor y varía según el origen y la constitución de la vermiculita. Este proceso se denomina exfoliación.

La vermiculita exfoliada se presente, en general, bajo la forma de granos de diferentes tamaños, desde polvo fino hasta granos de 30 mm, el peso específico aparente del material suelto y seco es de 100 a 200 kg/m^3 . El material triturado a la dimensión conveniente deberá sufrir un calentamiento brusco, y simultáneamente, un batido activo a efectos de regularizar la acción calorífica en toda la masa.

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

Figura n° 8: Vermiculita.



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

- **Arcilla y pizarras expandidas:** Tienen la propiedad, cuando son calentadas rápidamente y a una temperatura adecuada, 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, es introducida en hornos especiales cuya temperatura alcanza los 1100 a 1400° C en la zona más caliente.

En ella el material arcilloso, en principio de fusión, se vuelve plástico, formándose una superficie de protección sobre las partículas. 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.

Figura n° 9: Arcilla expandida



Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.mx/>

- **Poliestireno expandido:** 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 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 kg/m^3 y 30 kg/m^3 .

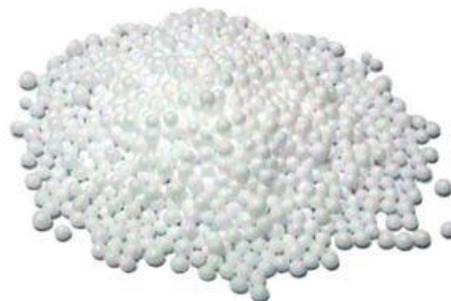
En construcción lo habitual es comercializarlo en planchas de distintos grosores y densidades. También es habitual el uso de bovedillas de poliestireno expandido para la realización de forjados con mayor grado de aislamiento térmico. El poliestireno al ser uno de los mejores aislantes térmicos, se usa 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 las perlas de poliestireno expandido, las cuales pueden reemplazar totalmente el agregado grueso, y parcialmente el agregado fino, debido a que son áridos que no absorben agua, no tienen impurezas, no reaccionan con el cemento y además tiene buena adherencia con el mismo.

En el proceso de mezclado mecánico, se coloca el poliestireno previamente mojado para aumentar su peso, luego se vierte el agregado fino que se va a adherir a la superficie del poliestireno, luego de la mezcla se coloca el cemento y al final el agua de mezclado. El material obtenido forma una masa consistente, que se coloca en el sitio por vibrado o apisonamiento manual.

Para la elaboración del concreto liviano con poliestireno expandido se debe tener en cuentas la exacta dosificación del agua, debido a que un exceso de agua puede ocasionar una mezcla no cohesiva y segregación del material en la superficie, caso contrario si la dosificación es correcta la mezcla será homogénea.

Figura n° 10: Poliestireno expandido.



Fuente: <http://www.arkigrafico.com/>

C. Concreto sin finos

El concreto hecho sin finos contiene poco o nada de agregado fino, debido a que está caracterizado por poseer vacíos uniformemente distribuidos. El concreto sin finos consiste en agregado grueso y pasta de cemento. La gran interconexión entre los vacíos le proporciona una baja densidad comparada con la del concreto convencional. La estructura del concreto sin finos lo hace un material ideal para su aplicación en capas y pisos en los que se requiere drenado. El concreto sin finos no es recomendable en concreto sin finos drenajes donde el agua es agresiva para el concreto. El agregado grueso debe ser preferentemente un material de un solo tamaño (siendo los más comunes los tamaños máximos nominales de 10 y 20 mm). Sin embargo, se ha encontrado que los agregados combinados (de 10 y 7 mm, y de 20 y 14 mm) se comportan satisfactoriamente.

Generalmente, la relación cemento-agregado por volumen está en el rango de 1:6 a 1:8. Las mezclas más delgadas, las de 1:8 a 1:10 reducen la probabilidad de que los poros sean bloqueados por la pasta de cemento. De esta manera, para capas de drenaje en donde puede tolerarse una menor resistencia, es preferible 1:10. La relación agua/cemento necesita mantenerse baja, por ejemplo 0.4–0.5, para asegurar que la pasta de cemento cubra con una capa los agregados y que tenga lugar la segregación.

La resistencia es menor que en el concreto convencional y es una función de la relación agregado - cemento, la relación agua/cemento, y el grado de compactación (la densidad). Por su parte, las resistencias típicas están en el rango de 5 a 13 MPa.

Figura n° 11: Concreto sin finos.



Fuente: <http://www.allanblock.com/>

2.2.6. CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

De acuerdo a lo visto hasta el momento, se reconoce al concreto ligero a base de poliestireno expandido al concreto que se realiza partiendo de un agregado ligero artificial: poliestireno en forma de perlitas que comúnmente se lo conoce como tecknopor. La presente investigación esta netamente enfocado en determinar las propiedades y físicas y mecánicas de este tipo de concreto, así como del uso en unidades de albañilería no estructural, propiedades que se obtendrán mediante los respectivos ensayos de laboratorio.

Por lo que no se cuenta con normativa para concretos ligeros a base de poliestireno para uso no estructural nos basaremos en la normativa ACI 318-08 y en la guía ACI 213 R - 14 que nos dan alcances de concretos ligeros para uso estructural.

2.2.6.1. Antecedentes Históricos.

En cuanto al poliestireno expandido, agregado ligero para este tipo de concreto, 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).

Posterior a la segunda guerra mundial se encontraron nuevos usos para este material, entre los que destaca la decoración y la aislación. Así, se desarrolló un proceso que permitió la extrusión continua de la espuma.

2.2.6.2. Definición

Según la ACI 318-08 para que un concreto entre en el grupo de concretos estructurales ligeros, debe tener como máximo una densidad de 1840 kg/cm^3 , este requisito también se ajusta para este tipo de concretos para una función no estructural.

La diferencia entre el uso estructural y no estructural se limita específicamente en la resistencia a la compresión que tenga el agregado liviano, ya que la resistencia del agregado determina en forma parcial la resistencia de la mezcla final, la guía: ACI 213R-14 menciona que para un uso estructural la resistencia a compresión del agregado liviano no debería bajar de 35 MPa, por lo que se podría deducir que la resistencia a la compresión de agregados livianos que constituyen concretos de uso no estructural es menor a 35 MPa.

2.2.6.3. Ventajas

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° 3: Tabla Conductividad térmica v/s densidad aparente.

Material	Densidad aparente	Conductividad térmica
	kg/m^3	$w/m\ ^\circ C$
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 celular 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, pag 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.

- **Económico**

Ahorro de tiempo: La reducción de la masa está involucrado en la construcción, en comparación con el concreto tradicional, el tiempo de construcción se puede reducir. Componentes de construcción, tales como pisos, paredes y techos con propiedades de peso ligero pueden ser transportados y manipulados mucho más fácilmente, obteniendo un mejor rendimiento en comparación con el concreto tradicional.

Ahorro de costo: Debido a su ligereza, el concreto ligero puede reducir fácilmente el costo de transporte, mano de obra y manipulación.

- **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.

2.2.6.4. 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 necesita 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.

CAPÍTULO III



MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

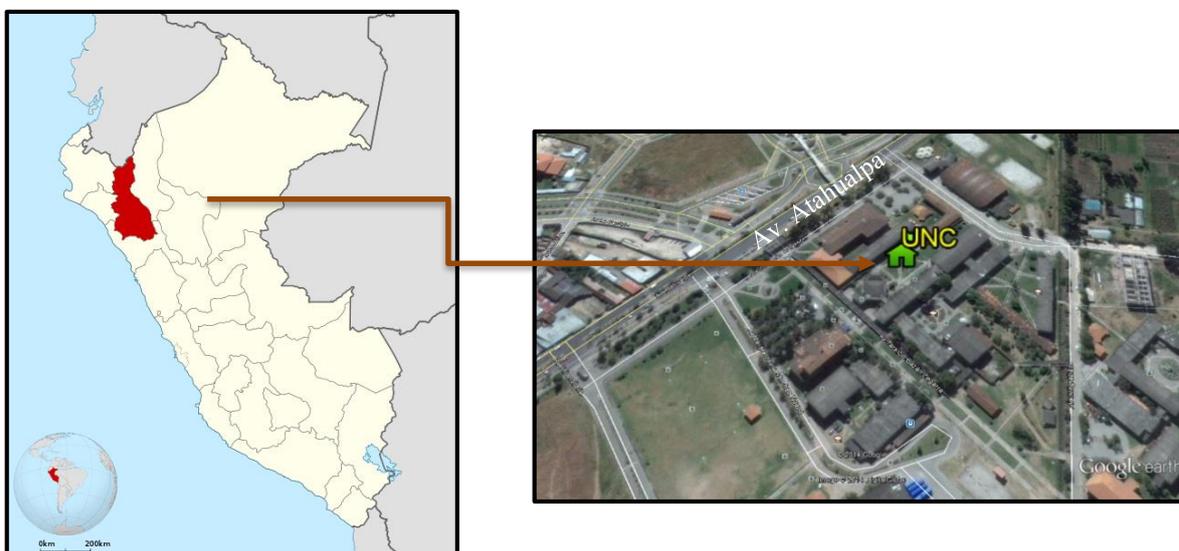
En este capítulo se realiza una ubicación del trabajo de investigación tanto temporal como geográfica. Además, se identifican los diferentes recursos, equipos y herramientas, y se explica la metodología a seguir para desarrollar el trabajo experimental de laboratorio, con este fin, se establecen parámetros fijos y parámetros variables que permitan llevar un procedimiento de manera ordenada; indicando para cada caso el tratamiento y tipo de análisis de los datos y la forma en que se presentarán los resultados respectivos.

3.1.METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA O ESPACIAL DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación fue realizada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), la cual se encuentra ubicada en la Av. Atahualpa N° 1050, en la ciudad de Cajamarca, Norte del Perú. Con coordenadas UTM: 9 206 975-N y 776 618-E y una altitud de 2687 msnm.

Figura n° 12: Ubicación geográfica del lugar donde se desarrolló la investigación.



Fuente: Google Earth (2016)

3.1.2. UBICACIÓN TEMPORAL DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio se desarrolló en el lapso comprendido entre los meses de setiembre de 2014 y abril de 2015.

3.1.3. RECURSOS, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

- **Recursos Humanos:**
 - ✓ Tesista: Bach. Ing. HUGO EMMANUEL RODRÍGUEZ CHICO
 - ✓ Asesor: Mcs. Ing. HÉCTOR PÉREZ LOAYZA
 - ✓ Otros colaboradores.
- **Recursos Materiales:**
 - ✓ Agregados finos (arena) de río, para concreto.
 - ✓ Cemento Portland Tipo I – Pacasmayo.
 - ✓ Agua de la Universidad Nacional de Cajamarca – UNC.
 - ✓ Perlitas de Poliestireno.
 - ✓ Gas para cocina.
 - ✓ Aceite, como antiadherente, para ayudar el desencofrado de los cilindros.
 - ✓ Cal para agua de curado.
- **Maquinaria Utilizada:**
 - ✓ Máquina Universal para Compresión.
 - ✓ Movilidad para el transporte de los agregados y otros equipos, materiales, herramientas y personal.
- **Equipo Utilizado:**
 - ✓ Mezcladora para concreto (tipo trompo), carretillas y buggies.
 - ✓ Balanzas, tamices, horno, cepillo, brocha, taras (depósitos de diferentes tamaños de aluminio y plástico), charolas.
 - ✓ Tanque contenedor de agua para ensayo de peso específico del agregado grueso (peso sumergido).
 - ✓ Moldes metálicos de medidas estándar, varilla de acero, placa de vidrio, espátula, cucharón, badilejo, combo o mazo de goma, cono de Abrams.
 - ✓ Computadora, cámara fotográfica.
 - ✓ Deformímetro (micrómetro), termómetro.

- ✓ Cono y pisón para arena, fiola de 500 ml, probeta graduada, canastillas o cestas de alambre.
- ✓ Guantes, franelas, plásticos, sacos (costales), bolsas, baldes, latas.
- ✓ Tanque de curado para especímenes de concreto.
- ✓ Cronómetro o reloj.
- ***Herramientas Utilizadas:***
 - ✓ Palana (pala), pico, martillo, combo, cincel, wincha, regla, alicate.

3.1.4. MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

Mostraremos la Matriz de Consistencia de la presente investigación, con el fin de observar la coherencia y conexión lógica entre el título, el problema, los objetivos, las hipótesis, las variables, el tipo, método, diseño de investigación la población y la muestra de estudio. Luego se determinarán y desarrollará cada uno de los parámetros.

Tabla n° 4: Matriz de Consistencia del Trabajo de Investigación.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
<p>1. Problema principal <i>¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas del concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural?</i></p>	<p>1. Objetivo General Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de concreto liviano a base de poliestireno expandido.</p> <p>2. Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar mediante método experimental la dosificación óptima de mezcla del concreto liviano a base de poliestireno expandido para condiciones locales de agregado fino y clima. • Determinar las propiedades físicas del concreto liviano a base de 	<p>1. Hipótesis General “Las propiedades físico-mecánicas del concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural, cumplen satisfactoriamente las normas técnicas peruanas y ACI vigentes”.</p>	<p>1. Variable Independiente Porcentajes de poliestireno en la dosificación del concreto liviano a base de poliestireno para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural.</p> <p>2. Variables Dependientes Propiedades físico-mecánicas de concreto liviano a base de poliestireno expandido para ser usados en albañilería no estructural.</p> <p>3. Tipo Experimental – Proyectiva.</p> <p>4. Localización Distrito, provincia y departamento: Cajamarca</p> <p>5. Población Bloques prefabricados de concreto liviano a base de poliestireno.</p>

	<p>poliestireno en estado fresco.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar las propiedades físicas y mecánicas del concreto liviano a base de poliestireno expandido en estado endurecido. • Determinar el análisis de costos y beneficios que conlleva la prefabricación de bloques de concreto liviano a base de poliestireno expandido. • Comparar costos y beneficios que conlleva la prefabricación de bloques de concreto liviano a base de poliestireno expandido frente a los costos y 		<p>6. Muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bloques prefabricados de concreto liviano a base de poliestireno: n = 135 Unidades <p>7. Intervalo Febrero – Setiembre 2016</p> <p>8. Diseño Experimental</p> <p>9. Técnicas. Observación directa</p> <p>10. Instrumentos de recolección de datos. Observación.</p> <p>11. Análisis de datos. Procesamiento de datos y gráficos: Microsoft Excel</p>
--	--	--	--

	<p>beneficios que conlleva la elaboración de ladrillos King Kong.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparar el comportamiento del concreto liviano a base de poliestireno expandido frente al concreto convencional. 		
--	---	--	--

Fuente: Elaboración propia (2016)

• **Limitaciones**

Condiciones de laboratorio:

Las pruebas a los componentes del concreto, elaboración de las mezclas y las pruebas al concreto en estado fresco y endurecido se realizarán en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC); efectuadas por el realizador de ésta investigación, a excepción de aquellas en que se requiera la colaboración de personal especializado en la utilización de algún tipo de equipo o máquina.

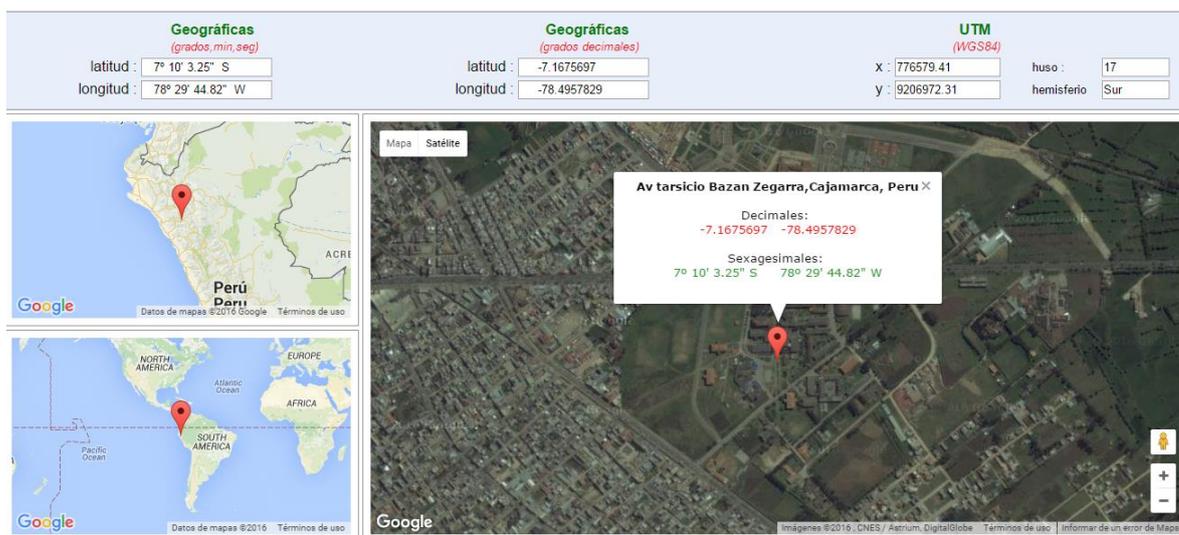
Tabla n° 5: Ubicación Geográfica del Trabajo de Investigación.

Coordenadas geográficas (Gados, minutos, segundos)		Coordenadas geográficas (Grados decimales)		Coordenadas UTM	
Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
7° 10' 3.25" S	78° 29' 44.82" W	7.1675697 S	78.4957829 W	776579.41	9206972.31

Fuente: Elaboración propia (2016).

- Uso: 17
- Hemisferio: Sur

Figura n° 13: Fotografía Satelital de la ubicación geográfica de la investigación



Fuente: <http://www.mundivideo.com/coordenadas.htm>

Agregado para el concreto:

Los agregados de estudio se obtuvieron de la Planta de Chancado “La Victoria” propiedad de la Universidad Nacional de Cajamarca, los agregados son extraídos de las márgenes del río Chonta, en el km 2.7 de la carretera Cajamarca-Jesús, provincia y departamento de Cajamarca. Geográficamente en las coordenadas UTM según Datum WGS-84, ubican a la cantera en la Franja 17M con coordenadas 0779892.50 Este y 9205014.38 Norte, a una altitud de 2637 m.s.n.m.

Figura n° 14: Ubicación geográfica de la planta de chancado “La Victoria” – cantera del río Chonta.



Fuente: Google Earth (2016).

En esta cantera se explotan a cielo abierto aproximadamente 9 ha. de material pétreo de libre aprovechamiento, existente en el lecho del Río Chonta a razón de 250 m³ por día y 75.000 m³/año, durante un período de 36 meses (3 años), para transportarlo hasta las diversas obras públicas de los sectores de la ciudad de Cajamarca y los sectores rurales de la provincia de Cajamarca.

Los agregados son clasificados por tamaños y calidad del material proveniente de la cantera y el procesamiento de aproximadamente 200 m³ por día de materiales triturados en tamaños 3/4", 3/8" y filler, así como también la clasificación de la arena, para la preparación de concretos y asfalto, durante un tiempo indefinido, para la

ejecución de las diversas obras públicas y comunitarias de hormigón y asfaltado de calles, vías rurales, escuelas, colegios, casas comunales, canchas deportivas, etc.

Cemento:

El cemento que se utilizará para la elaboración de todas las mezclas de concreto es de origen local, cemento Portland Tipo I de la Empresa Pacasmayo, elaborado con base en la norma NTP 334.009 / ASTM C150.

Agua:

Para esta investigación se utilizará el agua extraída en el Campus de la Universidad Nacional de Cajamarca – UNC.

3.1.5. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo, se ha determinado que la investigación es de tipo experimental-proyectiva, porque ésta, se ha basado en primer lugar en la determinación experimental de una dosificación óptima de Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido, estudiando las propiedades de estas dosificaciones tanto en estado fresco como en estado endurecido, para posteriormente una vez determinada la dosificación óptima proceder a elaborar los bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido y estudiar sus características físicas y mecánicas, todo esto, con la finalidad de comprobar si los bloques de Concreto ligero a base poliestireno expandido cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la Normas Técnica Peruana, para ser usados como unidades de albañilería no estructural.

La investigación es del tipo proyectiva porque se orientó a elaborar una propuesta en el uso de los bloques de Concreto de Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido como unidad de albañilería no estructural.

3.1.6. POBLACION

La población de estudio viene a ser los cubos de Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido elaborados para determinar la dosificación óptima y los bloques de Concreto ligero a base de poliestireno expandido elaborados con la dosificación óptima.

3.1.7. MUESTRA

Con respecto a la muestra, se tomó una muestra no probabilística de carácter Intencional, para ello se elaboró 90 Cubos de Concreto Ligero a base de Poliestireno

Expandido de 10x10x10 cm, para determinar la dosificación óptima y un lote de 45 Bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido de 09x19x39 cm, a fin de determinar las características y propiedades de los mismos, lo cual dará tendencia más no precisión.

3.1.8. TÉCNICA 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, tomar la información y registrarla para su posterior análisis, para el cual el investigador se apoya en sus sentidos, para estar al pendiente de los sucesos y analizar los eventos ocurrientes en una visión global, en todo un contexto natural.

3.1.9. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En respuesta a la técnica utilizada, el instrumento aplicado fue una planilla de observación, la cual contiene datos referentes a:

- El tipo de mezcla que se resultó factible, es decir; la dosificación óptima para el diseño de los bloques. Esta lista contiene los siguientes datos: número de mezcla, tipo y materiales usados, cantidad de material y resultados obtenidos de las mezclas tanto en estado fresco y endurecido.
- Las resistencias obtenidas para cada cubo y bloque de Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido, el tiempo de curado en días, la fecha de ensayo, la altura, peso y la carga de ruptura.

3.1.10. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para esta etapa de la investigación, el tratamiento y análisis de los datos se realizó haciendo uso tanto de la estadística descriptiva, así como de la estadística inferencial.

Aunque hay tendencia a generalizar a toda la población, las primeras conclusiones obtenidas tras un análisis descriptivo, es un estudio calculando una serie de medidas de tendencia central, para ver en qué medida los datos se agrupan o dispersan en torno a un valor central. La segunda, ya que comprende los métodos y procedimientos que por

medio de la inducción determina propiedades de una población estadística, a partir de una pequeña parte de la misma (muestra).

La presentación de resultados se hará haciendo uso de Tablas, Gráficos y Porcentajes; de los cuales se sacarán algunos comentarios en función de los objetivos e hipótesis planteadas.

Para el desarrollo del proceso indicado anteriormente, se hará uso de un software o programa computacional adecuado. Se trabaja con Microsoft Office Excel 2013.

3.2.CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.2.1. AGREGADO FINO

La Tecnología del concreto moderna define para este material cuatro componentes: Cemento, agua, agregados y aditivos como elementos activos y el aire como elemento pasivo.

Está científicamente demostrada la conveniencia del empleo de aditivos para mejorar condiciones de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, siendo a la larga una solución más económica si se toma en cuenta el ahorro en mano de obra y equipo de colocación y compactación, mantenimiento, reparaciones e incluso en reducción de uso de cemento. (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 13).

Figura n° 15: Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.

Aire = 1 % a 3 %
Cemento = 7 % a 15 %
Agua = 15 % a 22 %
Agregados = 60 % a 75 %

Fuente: Pasquel Carbajal (1998)

Actualmente el concreto ha sido definido como un sistema de 5 componentes: cemento, agregados, agua, aditivos y adiciones. (Portugal Barriga, 2007, pág. 19)

Consistirá en arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambas; definiéndose como aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa la malla de 3/8" y cumple con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 o ASTM C33. (Rivva López, 2004, pág. 17)

La arena es el árido de mayor responsabilidad. Puede decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena. (Jiménez, García, & Morán, 2000, pág. 31)

Las mejores arenas son las de río, ya que, salvo raras excepciones, son cuarzo puro, por lo que no hay que preocuparse acerca de su resistencia y durabilidad. La arena de mina suele tener arcilla en exceso, por lo que generalmente es preciso lavarla. Las arenas de mar, si son limpias, pueden emplearse en hormigón armado, previo lavado con agua dulce.

La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de los hormigones. Por ello es siempre necesario tenerla en cuenta. (Jiménez, García, & Morán, 2000, pág. 32).

a. Cantera

Lugar geográfico de donde se extraen o explotan agregados pétreos para la industria de la construcción o para toda obra civil, utilizando diferentes procesos de extracción dependiendo del tipo y origen de los materiales. (Universidad Nacional de Colombia).

Como ya hemos visto la cantera que se ha elegido para el presente trabajo de investigación es la “**Cantera la Victoria**” la cual extrae agregados de los márgenes del Río Chonta.

Figura n° 16: Cantera la Victoria.



Fuente: Elaboración propia (2016).

En la búsqueda y selección de la cantera de agregado, el Ingeniero debe tener en mente que es muy difícil encontrar depósitos que cumplan con todas las condiciones ideales y que, ubicada la posible cantera, sólo adecuados estudios de laboratorio podrán dar una interpretación correcta de la calidad del material. (Rivva López, 2004, pág. 15)

Para fines de muestreo y reducción de los agregados a tamaños de ensayo, se debe tener en cuenta las siguientes normas:

- Extracción y preparación de las muestras (NTP 400.010/ASTM D75).
- Reducción de las muestras a tamaño de ensayo (NTP 400.043/ASTM C702).

Se deben tomar muestras de distintos lugares de la cantera que no hayan estado sometidos a la acción de la intemperie. Lo más indicado es tomar muestras de cada uno de los estratos o zonas que parezcan diferenciarse por su color o estructura. (Aragón Masís & Solano Jiménez, 2006, pág. 39)

Según la norma ASTM D75, los tamaños mínimos de las muestras compuestas dependen del tamaño nominal, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla n° 6: Medida de las muestras.

Tamaño máximo nominal del agregado ^A	Masa mínima aproximada para la muestra de campo, kg ^B
Agregado fino	
2.36 mm	10
4.76 mm	10
Agregado grueso	
9.5 mm	10
12.5 mm	15
19.0 mm	25
25.0 mm	50
37.5 mm	75
50.00 mm	100
63.00 mm	125
75.00 mm	150
90.00 mm	175

^A Para agregado procesado, el tamaño máximo nominal es la menor malla donde se produce el primer retenido.

^B Para agregado global (por ejemplo, base o sub-base) la masa mínima requerida será la mínima del agregado grueso más 10 kg.

Fuente: Norma ASTM D75 (2003)

Para el caso del muestreo tomado de pilas de almacenamiento: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1999, pág. 197)

- a. De ser posible, evitar el muestreo tomado de pilas de almacenamiento.
- b. Para el muestreo tomado de una cara de la pila, inserte un escudo para muestras de un material rígido en la cara de la pila, para evitar que el material se segregue mientras se realiza el muestreo.
- c. Para el muestreo desde la parte superior de una pila, remueva un mínimo de 30 cm de la parte superior. Seleccione porciones al azar y combínelas para formar una muestra de campo, según se requiera.

Figura n° 17: Selección del agregado fino para ensayos



Fuente: Elaboración propia (2016).

Figura n° 18: Muestreo por el método del cuarteo del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia (2016).

b. Características físicas del agregado fino para concreto

b.1. Forma y textura superficial (NTP 400.011/ASTM C125)

La forma del agregado depende mucho del tipo de roca que lo originó, ya que para ciertas piedras resulta determinante el sistema de clivaje, las posibles instrucciones en la roca y su estado de meteorización. (Sánchez de Guzmán, 1997, pág. 84)

Las formas de las partículas de un agregado no es un índice de la calidad de producción de resistencia. (Abanto Castillo, pág. 66)

Se considera que son indeseables partículas de perfil elongado o laminado en exceso del 10% al 15% del peso total del agregado grueso. (Rivva López, 2000, pág. 147)

En términos meramente descriptivos, la forma de los agregados se define en: (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 87)

1. Angular: Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
2. Subangular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
3. Subredondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.
4. Redondeada: Bordos casi eliminados.
5. Muy redondeada: Sin caras ni bordes.

Los áridos que presentan formas laminares o aciculares (lajas y agujas) son inadecuados para la obtención de hormigones con buenas resistencias y, además, necesitan cantidades excesivas de cemento. (Jiménez, García, & Morán, 2000, pág. 51).

La textura, reviste especial importancia por su influencia en la adherencia entre los agregados y la pasta de cemento, así como también, por su efecto sobre las propiedades del concreto endurecido, tales como, densidad, resistencia a la compresión y a la flexión, cantidad requerida de agua, etc. (Sánchez de Guzmán, 1997, pág. 86)

Tabla n° 7: Clasificación de las partículas según su forma.

Clasificación	Descripción
Redondeada frotamiento	Totalmente desgastada.
Irregular	Irregular natural.
Angular	Posee caras bien definidas.
Escamosa	El espesor es pequeño (laminar).
Elongada	Longitud considerablemente mayor (Mat. Normalmente angular).
Escamosa y elongada	Longitud mayor que el ancho y éste mayor que el espesor.

Fuente: Sánchez de Guzmán (1997)

Tabla n° 8: Clasificación de la textura superficial de los agregados - norma BS-812.

Grupo	Textura superficial	Características
1	Vítrea	Fractura coloidal.
2	Lisa	Desgastada por el agua.
3	Granular	Más o menos uniformemente redondeados.
4	Áspera	Contiene partículas cristalinas no fácilmente visibles.
5	Cristalina	Contiene partículas cristalinas visibles.
6	Apanalada	Con poros y cavidades visibles.

Fuente: Sánchez de Guzmán (1997)

b.2. Análisis granulométrico (NTP 400.012/ASTM C136)

La distribución de los distintos tamaños de los granos que componen un árido tiene una importancia decisiva en las características del hormigón.

La diferencia entre el contenido que pasa una malla y el retenido en la siguiente, no debe ser mayor del 45% del total de la muestra. De esta manera, se tiende a una granulometría más regular. (Abanto Castillo, pág. 25)

Las composiciones granulométricas de elevada compacidad dan lugar a masas poco trabajables y que se disgregan con facilidad; pero si se dispone de medios adecuados para su correcta puesta en obra y compactación, puede obtenerse con ellas hormigones muy resistentes, de mucha durabilidad y poca retracción. (Jiménez, García, & Morán, 2000, pág. 35).

Tabla n° 9: Series normalizadas de tamices.

Tamices	Abertura en milímetros									
	N°100	N°50	N°30	N°16	N°8	N°4	3/8"	3/4"	1 1/2"	3"
ISO-565	0.125	0.250	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00	31.50	63.00
UNE-7050	0.160	0.320	0.63	1.25	2.50	5.00	10.00	20.00	40.00	80.00
Serie Tyler	0.149	0.297	0.59	1.19	2.38	4.76	9.50	19.00	38.00	76.00

Fuente: Jiménez Montoya et al. (2000)

Según la norma ASTM C136, se establece que: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1999, pág. 196)

1. Haga un muestreo de los agregados de acuerdo con el método apropiado que se da en ASTM D75.
2. Separe la muestra por el método de cuarteo o utilizando un separador de muestras.
3. Utilice los pesos mínimos de las muestras de pruebas según lo indica ASTM C136.

Tabla n° 10: Muestra de agregados para ensayo.

TMN, ABERTURAS CUADRADAS. mm (pulg.)	TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO, MÍNIMA. kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: Norma ASTM C136 (2001)

4. Seque la muestra hasta obtener un peso constante. Para el control rutinario de la granulometría, el agregado grueso no necesita ser secado.
5. Pese con una aproximación de 0.1 g para el agregado fino y 0.1 % para los agregados gruesos.
6. Coloque la muestra sobre un conjunto de tamices arreglados en tamaño descendente de aberturas, de arriba hacia abajo.

7. Sacuda los tamices hasta que no más del 1 % del peso del residuo en cualquiera de ellos pase el tamiz, durante un minuto de tamizado manual continuo.
8. Pese las cantidades retenidas en cada tamiz o malla y regístrelos en una hoja de trabajo (formato).
9. Calcule el porcentaje con base en el peso total de la muestra, incluyendo cualquier material más fino que la malla N° 200 (75 μ m), determinado de acuerdo con ASTM C117.
10. El módulo de finura se puede calcular sumando los porcentajes acumulativos retenidos en los siguientes tamices y dividiendo entre 100: N° 100, 50, 30, 16, 8, 4, 3/8" (9.5 mm), 3/4" (19 mm), 1 1/2" (38 mm), y más grandes, que aumenten en una proporción de 2 a 1.

- **Husos granulométricos**

En general las normas establecen límites entre los cuales se deben encontrar las curvas granulométricas, para considerar al árido como adecuado para preparar el Hormigón. (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 41)

Lo importante pues en cuanto a la granulometría es la gradación total por lo que puede darse el caso de agregados que no entren en los husos y que sin embargo mezclándolos adecuadamente, suministren una distribución de partículas eficiente. (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 105)

El agregado utilizado en concretos de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia de diseño o mayores, así como los utilizados en pavimentos de concreto, deberán cumplir: (Rivva López, 2000, pág. 166)

- La granulometría del agregado fino deberá corresponder a la graduación (gradación) C, de la siguiente tabla:

Tabla n° 11: Granulometría del agregado fino.

TAMIZ	GRUPO C	GRUPO M	GRUPO F
3/8"	100	100	100
N° 4	95 – 100	85 – 100	89 – 100
N° 8	80 – 100	65 – 100	80 – 100
N° 16	50 – 85	45 – 100	70 – 100
N° 30	25 – 60	25 – 80	55 – 100
N° 50	10 – 30	5 – 48	5 – 70
N° 100	2 – 10	0 – 12	0 – 12

El Grupo C, corresponde a arenas gruesas.

El Grupo M, corresponde a arenas intermedias.

El Grupo F, corresponde a arenas finas.

Fuente: Rivva López (2000)

* Podrán ser reducidos a 5 % y 0 % en las mallas N° 50 y N° 100 respectivamente, si es empleado en concretos con aire incorporado y contenido de cemento mayor de 255 kg/m³, o un concreto sin aire incorporado y contenido de cemento mayor de 300 kg/cm³; o si se emplea una adición puzolánico para suplir las deficiencias en las mallas indicadas. En este caso se considerará como concreto con aire incorporado a aquel que contiene cemento con aire incorporado o que tiene un contenido de aire total mayor del 3 %.

- **Módulo de finura**

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 ½", 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).

❖ **Resultados**

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla n° 12: Resultados del módulo de finura del agregado fino utilizado.

ITEM	MÓDULO DE FINURA
ARENA A*	2.71
ARENA B**	2.65
ARENA C***	2.47

Fuente: Elaboración propia (2016).

*Arena A: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1200 kg/m³.

**Arena B: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1400 kg/m³.

***Arena C: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1600 kg/m³.

Figura n° 19: Equipo de ensayo para granulometría del agregado fino



Fuente: Elaboración propia (2016).

b.3. Material más fino que pasa el tamiz N° 200 (NTP 400.018/ASTM C117)

El suelo fino (material que pasa el tamiz No. 200- 74 μ m) puede estar presente como polvo o puede estar recubriendo las partículas del agregado, aun cuando delgadas capas de limo o arcilla cubran las partículas, puede haber peligro porque debilitan la adherencia entre la pasta de cemento y las partículas del agregado, perjudicando la resistencia y la durabilidad de las mezclas. Si están presentes algunos tipos de limos y arcillas en cantidades excesivas, el agua necesaria en la mezcla puede aumentar considerablemente. (Rivera López, pág. 68)

Según la norma ASTM C117, establece que: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1999, pág. 197)

1. Prepare una muestra húmeda mezclándola, y reduciéndola, con un separador o por el método de cuarteo. La muestra de prueba mínima después de secarse hasta lograr un peso constante, debe ser:

Tabla n° 13: Tamaño de la muestra.

Tamaño Máximo Nominal	Masa mínima, g
4.75 mm (N° 4) o menor	300
9.5 mm (3/8")	1000
19.0 mm (3/4")	2500
37.5 mm (1 1/2") o mayor	5000

Fuente: Norma ASTM C117 (2003)

2. Coloque la muestra en un contenedor de un tamaño suficiente para permitir recubrir la muestra con agua, y que se pueda agitar vigorosamente sin pérdida.
3. Agite la muestra con suficiente energía para que resulte una separación completa de todas las partículas más finas que la malla N° 200 de las partículas gruesas, hasta que los finos queden en suspensión.
4. Vierta inmediatamente el agua de lavado que contiene los sólidos suspendidos sobre los tamices acoplados, con el N° 16 en la parte superior y el N° 200 en la parte inferior.
5. Agregue una segunda carga de agua al espécimen en el contenedor, y repita las operaciones de agitación y decantación. Repita esto hasta que el agua esté clara.
6. Devuelva todo el material retenido en el juego de tamices echándolo en la muestra lavada.
7. Seque el agregado lavado hasta obtener un peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, y péselo con aproximación al 0.1 % del peso de la muestra de prueba.
8. Calcule A, el porcentaje que pasa la malla N° 200, a una aproximación de 0.1 % como sigue:

$$A = 100 \times \frac{B - C}{B}$$

Donde:

B = peso seco original de la muestra, g.

C = peso seco de la muestra después del lavado, g.

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 a/c y/u optimizando granulometría. (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 105).

❖ **Resultados**

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla n° 14: Resultados de ensayo de partículas menores al tamiz N° 200.

ITEM	PROMEDIO
ARENA A*	4.72 %
ARENA B**	4.66 %
ARENA C***	4.57 %

Fuente: Elaboración propia (2016).

*Arena A: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1200 kg/m³.

**Arena B: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1400 kg/m³.

***Arena C: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1600 kg/m³.

b.4. Peso específico y absorción

La capacidad de absorción de un agregado está dada por la cantidad de agua que él necesita para pasar del estado seco (S) al estado saturado superficialmente seco (SSS). Normalmente se expresa en porcentaje. (Rivva López, 1992, pág. 124)

Según la norma ASTM C128, peso específico de la masa y absorción del agregado fino, establece: (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1999, pág. 198)

1. Seleccione, mediante separación o por cuarteo, aproximadamente 1000 g de agregado fino tomado de la muestra.
2. Seque la muestra en un recipiente apropiado hasta obtener un peso constante a una temperatura de 100 °C a 110 °C.
3. Permita que la muestra se enfríe, cúbrala con agua, y déjela que repose durante 24 ± 4 horas.

4. Decante el exceso de agua. Después, extienda la muestra en una superficie plana expuesta a circulación de aire caliente para asegurar el secado uniforme. Continúe hasta que el espécimen este en una condición de flujo libre.
5. Para verificar su sequedad, coloque una porción de la muestra en un molde cónico, mantenido firmemente sobre una superficie lisa no absorbente, con el diámetro más grande abajo. Golpee ligeramente la superficie del agregado 25 veces con un apisonador metálico que pese 340 ± 14 g, y que tenga una cara plana circular de apisonamiento de aproximadamente 1" de diámetro (25 mm). Después levante el molde verticalmente.
Si aún queda presente humedad superficial, el agregado fino retendrá la forma del molde. Continúe secándolo al mismo tiempo que lo revuelve, y haga pruebas a intervalos frecuentes hasta que el agregado fino apisonado se desplome ligeramente al quitar el molde. Esto indica que ha alcanzado la condición de saturado y superficialmente seco.
6. Introduzca inmediatamente 500.0 g del agregado fino SSS en el picnómetro (matraz) y llénelo con agua hasta aproximadamente 90 % de su capacidad. Ruede, invierta y agite el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire; agregue después agua hasta que el nivel alcance la capacidad calibrada. Mantenga la temperatura a $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Determine el peso total del picnómetro, del espécimen y del agua, aproximadamente a 0.1 g.
7. Quite el agregado fino del picnómetro, séquelo hasta obtener un peso constante a temperatura de $100 \text{ }^\circ\text{C}$ a $110 \text{ }^\circ\text{C}$, enfríele en el aire a temperatura ambiente por $1 \pm 1/2$ h, y péselo.
8. Pese el picnómetro lleno de agua hasta su capacidad de calibración, a $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.
9. Calcule el peso específico del agregado:

$$\text{Peso específico de la masa SSS} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$\text{Peso específico de la masa seca} = \frac{A}{B + 500 - C}$$

Donde:

A = peso de la muestra seca obtenida en el paso 7, en g.

B = peso del picnómetro lleno de agua, en g.

C = peso del picnómetro con el espécimen y agua, en g.

10. Determine la humedad de absorción del agregado fino; pese inmediatamente 500.0 g del agregado fino SSS, y séquelo hasta obtener un peso constante a temperatura de 100 °C a 110 °C. Déjelo que se enfríe y péselo con una aproximación de 0.1 g. Calcule el porcentaje de absorción como sigue:

$$\text{Porcentaje de absorción, \%} = \frac{(500 - A)}{A} \times 100$$

Dónde: A = peso en el aire del material secado al horno, en g.

❖ **Resultados**

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla n° 15: Resultados de ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.

CUADRO RESUMEN				
ITEM	UNIDAD	ARENA A	ARENA B	ARENA C
PESO ESPECIFICO DE MASA SECA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) (SS)	gr/cm ³	2.580	2.580	2.591
PESO ESPECÍFICO DE MASA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) (SSS)	gr/cm ³	2.613	2.615	2.626
PESO ESPECÍFICO APARENTE (GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE)	gr/cm ³	2.669	2.675	2.685
ABSORCIÓN	%	1.304	1.379	1.358

Fuente: Elaboración propia (2016).

Figura n° 20: Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino



Fuente: Elaboración propia (2016).

b.5. Contenido de humedad (NTP 339.185/ASTM C566)

Es la cantidad total de agua que un agregado tiene y se determina por la diferencia entre su peso (H) y su peso seco (S): (Rivva López, 1992, pág. 124)

Según la norma ASTM C566, sobre contenido total de humedad del agregado por medio de secado, establece:

1. Seleccione una muestra representativa del agregado por separación o por medio de cuarteo, de no menos de los siguientes pesos:

Tabla n° 16: Tamaño de la muestra para el agregado.

TMN del agregado, mm (pulg.)	Peso mínimo de la muestra de prueba, kg
4.75 (0.187)	0.5
(N° 4)	1.5
9.5 (3/8)	2
12.5 (1/2)	3
19.0 (3/4)	4
25.0 (1)	6
37.5 (1 1/2)	8
50 (2)	10
63 (2 1/2)	13
75 (3)	16
90 (3 1/2)	25
100 (4)	50
150 (6)	

Fuente: Norma ASTM C566 (2004)

- Pese la muestra húmeda con precisión del 0.1 %.
- Seque completamente la muestra hasta obtener un peso constante. Si se usa un horno ventilado, la temperatura debe ser de 110 °C ± 5°C. Si se usa un platillo caliente o una lámpara calorífica, se debe agitar la muestra constantemente para evitar sobrecalentamiento localizado.
- Deje que la muestra seca se enfríe y pésela con aproximación de 0.1 %.
- Calcule P, el contenido total de humedad (%) de la muestra como sigue:

$$P = \frac{(W - D)}{D} \times 100$$

Donde:

W = peso de la muestra húmeda original, g.

D = peso de la muestra seca, g.

- La humedad superficial (agua libre) es la diferencia entre el contenido total de humedad y la absorción conocida del agregado.

❖ **Resultados**

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla n° 17: Resultados del ensayo de contenido de humedad.

ITEM	CONTENIDO DE HUMEDAD (P)
ARENA A*	2.00 %
ARENA B**	3.00 %
ARENA C***	2.50 %

Fuente: Norma ASTM C566 (2004).

*Arena A: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1200 kg/m³.

**Arena B: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1400 kg/m³.

***Arena C: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1600 kg/m³.

b.6. Peso unitario (NTP 400.017/ASTM C29)

Se denomina peso volumétrico o peso unitario del agregado, ya sea suelto o compactado, el peso que alcanza un determinado volumen unitario. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados y en el caso de dosificarse el concreto por volumen. El peso unitario varía con el contenido de humedad. (Rivva López, 2000, pág. 152)

El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen. La mejor recomendación para reducir el error de conversión, es hacer por lo menos 5 determinaciones de peso unitario suelto en porciones de muestras de agregados que representen varios niveles de las pilas de almacenaje para reflejar las probables variaciones por segregación. (Pasquel Carbajal, 1998, pág. 74)

El procedimiento de este ensayo es descrito por la NTP 400.017 o la ASTM C29 y establece que en base al tamaño máximo nominal del agregado se selecciona el volumen

mínimo apropiado de molde a utilizar para determinar la densidad de la masa, el cual se describe a continuación:

Inicialmente se determinó la densidad del agua, para ello se llenó la fiola hasta la línea de calibración, se halló la masa de la fiola llena de agua hasta la marca de calibración y luego se pesó la fiola vacía.

Se calibró el recipiente o molde cilíndrico de metal, se determinó la masa de la placa de vidrio y del recipiente con exactitud de 0.5 kg, se colocó una capa de grasa en el borde del recipiente para evitar fugas de agua, luego se llenó el recipiente con agua a temperatura ambiente y se cubrió el mismo con la placa de vidrio tratando de eliminar todas las burbujas y el exceso de agua, finalmente se determinó la masa de la placa de vidrio más el recipiente lleno de agua, con exactitud de 0.5 kg, luego de realizar todo el procedimiento se calcula el volumen del recipiente y/o el factor F del molde mediante las fórmulas que se verán líneas adelante.

❖ **Procedimiento para peso suelto**

Se introdujo el agregado en el molde seleccionado en su estado suelto, llenándolo por medio de una cuchara o pala a una altura no mayor a 2" por encima del borde superior del molde hasta que el material rebose el molde; teniendo el cuidado de evitar en la medida de lo posible la segregación. A continuación, se niveló la superficie con una regla enrasadora teniendo el cuidado de no presionar mucho para no compactar ligeramente su estado suelto o nivelando. A continuación se determinó los pesos del molde con el agregado y del peso del molde solo (con una precisión de 0.05 kg) y se procedió a realizar la serie de cálculos (con las unidades consistentes).

❖ **Procedimiento de apisonado**

- Se introdujo el agregado en el molde seleccionado y llenándolo en tres capas de igual altura; cada capa fue compactada por medio de la aplicación de 25 golpes (igualmente espaciados sobre su superficie) con una varilla lisa de acero de 5/8" de diámetro y 24" de largo cuyos extremos están redondeados con punta semiesférica.
- La primera capa se niveló con los dedos su superficie, a continuación, se varilló la capa de agregados con 25 golpes uniformemente distribuidos sobre su superficie; al varillar la primera capa no se debe permitir que la varilla toque el fondo del recipiente. A continuación, se llenó el recipiente a dos tercios de su

altura, se volvió a nivelar y varillar (para la segunda y tercera capa se procura aplicar golpes vigorosos, pero de forma tal que la varilla no penetre la capa anterior), finalmente se llenó el recipiente hasta rebosarlo y se varilló de la forma descrita anteriormente, Se nivela la superficie del agregado con los dedos o regla enrasadora. A continuación se determinó los pesos del molde con el agregado y del peso del molde solo (con una precisión de 0.05 kg) y se procede a realizar la serie de cálculos (con las unidades consistentes).

❖ **Cálculos.**

El Peso Unitario o la densidad de masa se calcula de acuerdo a la norma NTP 400.017 o ASTM C 29, mediante las siguientes ecuaciones:

Densidad del Agua: Calcular la densidad del agua como sigue:

$$D = \frac{(P1 - P2)}{V}$$

Donde:

D = Densidad del agua para la temperatura medida, kg/m³

P1 = Masa de la fiola y agua, kg

P2 = Masa de la fiola, kg

V = Volumen de la fiola hasta la línea de calibración, m³

Volumen y Factor de recipiente: Calcular el volumen y factor F del recipiente como sigue:

$$W = \frac{(W - M)}{D}$$

$$F = \frac{D}{W - M}$$

Donde:

V = Volumen del recipiente, m³

F = Factor para el recipiente, l/m³

W = Masa del agua, placa de vidrio y recipiente, kg

M = Masa de placa de vidrio y recipiente, kg

D = Densidad del agua para la temperatura medida, kg/m³.

Peso Unitario Suelto y Compactado: Calcular el correspondiente peso unitario como se sigue:

$$PU = \frac{(G - T)}{V}$$

$$DM = (G - T) \times F$$

Donde:

PU= Peso unitario o densidad de masa del agregado, kg/m³

G = Masa del recipiente y agregado, kg

T = Masa del recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m³

F = Factor para el recipiente, l/m³

Contenido de Vacíos: Para determinar el contenido de vacíos se requiere el valor de densidad o gravedad específica de masa obtenida de acuerdo a los procedimientos descritos en la NTP 400.021 o NTP 400.022 (ASTM C-127 o C 128) según corresponda y se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Vacios} = \frac{\{(S \times W) - M\}}{(S \times W)} \times 100$$

Donde:

M = Peso unitario o densidad de masa del agregado, kg/m³

S = Gravedad específica de masa (NTP 400.021 o NTP 400.022)

W = Densidad del agua, kg/m³.

❖ Resultados

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla n° 18: Tamaño de la muestra para el agregado.

CUADRO RESUMEN				
ITEM	UND	ARENA A	ARENA B	ARENA C
Peso Unitario seco suelto (PUSS)	gr/cm ³	1.481	1.476	1.444
Peso Unitario seco compactado (PUSC)	gr/cm ³	1.660	1.650	1.575
Vacios en base al agregado suelto	%	42.311	42.514	43.983
Vacios en base al agregado compactado	%	35.334	35.717	38.902

Fuente: Elaboración propia (2016).

Figura n° 21: Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia (2016).

3.3.POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO (MEPS)

(Juan Guillermo León, 2013, págs. 17,18,19)

3.3.1. INTRODUCCION

Para producir concreto ligero se puede incorporar fácilmente poliestireno expandido (EPS) con una amplia gama de densidades y dosificaciones. Sin embargo, el concreto ligero con EPS no ha sido utilizado como hormigón estructural debido a su baja prestación a fuerzas.

La resistencia del concreto es influenciada por la fuerza del conjunto y se sabe que los esfuerzos del EPS ante cargas externas son casi nulo. Su baja capacidad y pobres resultados tanto en hormigones y morteros quedó claramente demostrado por Kan y Demirboğa (2009) donde se señala que la resistencia del hormigón con agregados de EPS no supera la resistencia de los 8 MPa.

Con el objetivo de mejorar las propiedades del poliestireno expandido, recientemente se ha desarrollado una técnica basada en el tratamiento térmico. Este tratamiento es utilizado en muchas industrias para modificar las propiedades mecánicas de este tipo de materiales, según su conveniencia. En el caso de del EPS, este proceso modifica su estructura beneficiando sus propiedades, dando como resultado un material de baja densidad y valores considerablemente importantes en relación a esfuerzos mecánicos al compararlos con el material original.

Este nuevo material puede ser utilizado como agregado liviano según los estudios realizados por Kan y Demirboğa (2009). Como anexo a esto, Fernando Vidal (2010) demostró su efectividad en hormigones livianos estructurales.

Figura n° 22: Poliestireno expandido.



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.3.2. CONCEPTO

Como su nombre lo indica, el poliestireno expandido modificado se fabrica teniendo como materia prima poliestireno expandido, el cual siendo expuesto a un proceso térmico es modificado en su estructura interna, pasando de espumosa a plástica. Este proceso se extiende por un tiempo y una temperatura determinada, obteniendo como resultado un material de baja densidad y gran resistencia mecánica, dependiendo de las variables anteriormente mencionadas.

3.3.3. ANTECEDENTES

Los primeros antecedentes del MEPS fueron realizados en el año 2009, por lo cual existen limitados referentes acerca de él. Dicha investigación tenía como objetivo encontrar un nuevo uso a los desechos de EPS en el área de construcción, ya que este

material al no ser biodegradable, genera gran contaminación de suelos y aguas. De este modo, se logra crear hormigones sustentables y amigables con el medio ambiente.

3.3.4. PROCESO DE FABRICACIÓN

Descrito de manera breve, el proceso de fabricación de MEPS comienza por la recolección de desechos de EPS los cuales son chancados o triturados hasta obtener partículas de tamaño uniforme, para finalmente exponerlas a una temperatura específica durante un tiempo determinado es un horno diseñado para ello. Todo esto se ve claramente ejemplificado en el esquema presentado a continuación:

Figura n° 23: Proceso de Producción de Poliestireno Expandido Modificado.



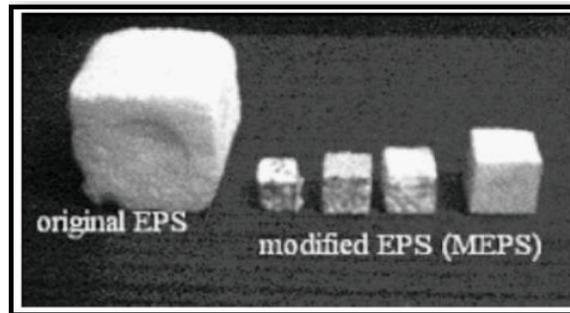
Fuente: Kan y Demirboğa (2009)

3.3.5. CAMBIO DE VOLUMEN Y DENSIDAD DEL EPS POR TRATAMIENTO TÉRMICO

Durante el proceso de tratamiento térmico del EPS, este sufre importantes cambios de densidad y volumen los cuales fueron cuantificados en los estudios de Kan y Demirboğa (2009), quienes expusieron muestras a temperaturas de 100, 110, 120, 130, 140 y 150 °C por periodos de tiempos entre 15, 30, 45, 60 y 120 minutos.

Este hecho logro reducir el volumen de las probetas entre 1/10 y 1/20 del original.

Figura n° 24: Comparación de Volúmenes Antes y Después del Tratamiento.



Fuente: Kan y Demirboğa (2009)

Como resultado de este estudio (método de ensayo y error), Kan y Demirboğa (2009) pudieron concluir que para alcanzar la optimización del proceso de modificación de EPS (transformación de estructura espumosa a plástica), se requiere de un tiempo de exposición de 15 minutos a una temperatura de 130 °C.

A tiempos y temperaturas mayores a la señalada, el material comienza a deformarse y experimentar cambios drásticos de volumen, aumentando peligrosamente su fragilidad, hecho contraproducente para el fin requerido de los MEPS en el caso de agregados livianos.

Figura n° 25: Resultado de placas de MEPS según temperaturas.



Fuente: Kan y Demirboğa (2009)

Los cambios en la densidad, resistencia a la compresión, la conductiva térmica y absorción mejoran notablemente tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla n° 19: Tabla comparativa de propiedades entre EPS y MEPS.

Propiedades	EPS	MEPS
Densidad (Kg/m ³)	10	32.700
Resistencia a compresión (MPa)	0.120	8.290
Conductividad térmica (W/mK)	0.0369	0.0555
Absorción máxima % por volumen	< 3	0.580

Fuente: Kan y Demirboğa (2009)

3.3.6. PROPIEDADES DEL MEPS.

(Diseño, fabricación y ensayo de una losa unidireccional de hormigón liviano con poliestireno expandido reciclado modificado para fines habitacionales, pag. 25)

- **Propiedades de aislamiento térmico:** Las propiedades de aislamiento al calor y al frío que muestra el EPS son realmente notables, por este motivo no es extraño que sea una de sus aplicaciones más comunes y exploradas por investigadores y asociaciones interesadas.

El MEPS se construye con una gran cantidad de esferas de poliestireno soldadas unas a otras y que forman una estructura de geometría muy variada. Las perlas contienen aire en su interior de tal manera que son huecas en un 97-98% de su volumen. El aire atrapado dentro de la estructura funciona como un magnífico aislante térmico (González, 2005).

La densidad de una estructura de plástico determina la conductividad térmica del material. El MEPS como otras espumas recibe cuatro contribuciones:

- ✓ Conducción en el poliestireno.
 - ✓ Conducción entre el aire atrapado.
 - ✓ Convección por el movimiento de las moléculas de aire.
 - ✓ Radiación a través de las paredes de las celdillas.
- **Propiedades de aislamiento acústico:** Como en otras estructuras poliméricas, la capacidad de aislamiento acústico del MEPS depende fundamentalmente de la densidad del poliestireno en la espuma. El MEPS absorbe sonido en un rango de

frecuencias entre 3500 y 4500 Hz. Para incrementar ese rendimiento el EPS se combina con otros materiales para formar barreras al sonido tipo “sándwich” ya sea con maderas o bien laminadas de otros plásticos (González, 2005).

Todas estas propiedades que posee el MEPS las hereda el concreto liviano que se forma a partir de ella, por lo que resulta un agregado liviano de grandes proyecciones y propiedades.

3.3.7. PREPARACIÓN Y OBTENCIÓN DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO

Para la preparación del Poliestireno expandido se realizó el tratamiento térmico en el horno a una temperatura de 130 C° durante un tiempo de exposición de 15 minutos (Kan y Dermiboga, 2009).

Este proceso de exposición a tratamientos de temperatura se realiza para que el poliestireno expandido aumente su densidad y consecuentemente aumentar la resistencia a las fuerzas comprensivas tanto del poliestireno expandido como de la mezcla obtenida con este material

Para evitar fallas en el material resultante, se realizará el procedimiento de cocción de acorde a los siguientes aspectos:

- **Uso de film de aluminio sobre la bandeja**, para evitar que el material se adhiriera a la bandeja metálica, evitando exposición excesiva de calor en esos puntos.
- **Pre calentamiento de horno y bandeja**, permitiendo el calentado uniforme del material. De modo contrario el resultado obtenido sería un material heterogéneo tanto en resistencia y densidad.
- **Control del tiempo y temperatura de cocción**, lo que permitió obtener un material óptimo. De no haber controlado dichos parámetros, el material resultante se habría fundido ante temperaturas mayores o presentado resistencias bajas producto del menor tiempo o temperatura de cocción.
- Al retirar el Poliestireno expandido del horno, estos tenían una consistencia esponjosa y blanda debido a la temperatura, lo cual se modificó a medida que se enfrió el material, adquiriendo la rigidez necesaria para ser utilizado como remplazo de agregados pétreos.

Para finalizar el proceso de preparación, se debió separar el material de forma manual, ya que las perlititas de Poliestireno expandido tendían a adherirse entre sí en los puntos de contacto, formando conglomerados, como se observa en la siguiente figura.

Figura n° 26: Muestras de EPS antes (a) y después (b) del tratamiento térmico.



Fuente: Elaboración propia (2016)

❖ **Cálculos.**

Densidad:

La densidad tanto del poliestireno expandido (EPS) y el poliestireno expandido modificado (MPES) se calculará mediante la siguiente formula:

$$D = \frac{(P1 - P2)}{V}$$

Donde:

D = Densidad del poliestireno, kg/m³

P1 = Masa del recipiente con poliestireno, kg

P2 = Masa del recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m³

❖ **Resultados.**

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla

Tabla n° 20: Tabla comparativa de densidad entre EPS y MEPS.

	Unidad	Densidad
Poliestireno Expandido	kg/m ³	10 - 11
Poliestireno Expandido Modificado	kg/m ³	154.17

Fuente: Elaboración propia (2016)

3.4.CEMENTO

Materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. (Rivva López, 2000, pág. 30)

3.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO PORTLAND

El cemento Portland es un polvo de color gris, más o menos verdoso. Se vende en bolsas que tienen un peso neto de 42.5 kg y un pie cúbico (1 pie³) de capacidad. En aquellos casos en que no se conozca el valor real se considerará para el cemento un peso específico de 3.15 g/cm³. (Abanto Castillo, pág. 16)

La hidratación del cemento es tanto más rápida y más completa cuando mayor sea la finura de su molido. (Aragón Masís & Solano Jiménez, Manual de consejos prácticos sobre el concreto, 2006, pág. 52)

Si se divide la resistencia de un concreto por su contenido de cemento, se obtiene una medida de la eficiencia del cemento: (Rivera López, pág. 105)

$$Eficiencia = \frac{Resistencia\ a\ la\ compresión\ (kg/cm^2)}{Contenido\ de\ cemento\ (kg/m^3)}$$

Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de hidratación serán muy altos, se vuelve más susceptible a la meteorización y disminuye su resistencia a las aguas agresivas. (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 12).

3.4.2. FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO

La fragua es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento. Hay dos etapas de fraguado: *a) Fraguado inicial* cuando la masa empieza a perder plasticidad; *b) Fraguado final*, cuando la pasta de cemento deja de ser deformable y se convierte en un bloque rígido. El endurecimiento es el desarrollo lento de la resistencia. (Abanto Castillo, pág. 17)

Durante el desarrollo del endurecimiento de la pasta de cemento, se producen variaciones de volumen, de dilatación si el ambiente tiene un alto contenido de humedad o de contracción si éste es bajo. (Zabaleta G., 1988, pág. 12)

Una calidad normal de cemento fragua inicialmente a los 40-50 minutos o a los 30 minutos para los cementos de mayor grado de finura, considerándose normal un tiempo de fraguado final entre 4 y 7 horas. (Rivva López, 2000, pág. 78).

Tabla n° 21: Resistencias de los cementos.

Tipos de cemento Portland	Resistencia a la compresión (%)			
	3 días	7 días	28 días	3 meses
I. Usos generales.	100	100	100	100
II. Modificado.	85	89	96	100
III. Alta resistencia inicial.	195	120	110	100
IV. Bajo calor.	-	36	62	100
V. Resistencia al sulfato.	67	79	85	100

Fuente: Quiroz Crespo et al. (2006)

Tipos de cementos fabricados en el Perú

La Norma NTP 334.009, 2013 establece seis tipos de cementos Pórtland:

- *Tipo I:* Para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
 - *Tipo II:* Para uso general, y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.
 - *Tipo III:* Para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales.
- PRODUCCIÓN ESPECIAL BAJO PEDIDO.**

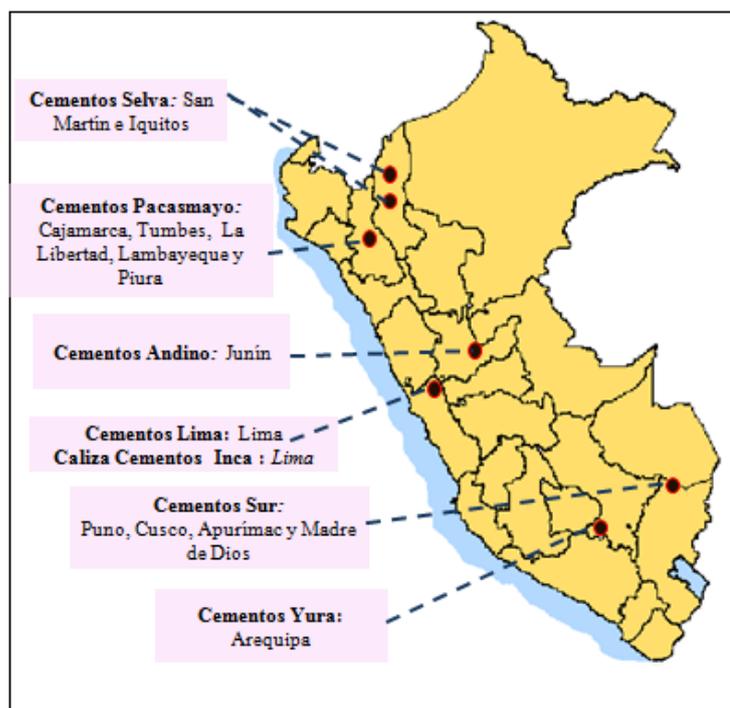
- *Tipo IV:* Para usar cuando se desea bajo calor de hidratación. PRODUCCIÓN ESPECIAL BAJO PEDIDO.
- *Tipo V:* Para usar cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

3.4.3. ESTRUCTURA DE MERCADO Y GRADO DE CONCENTRACIÓN INDUSTRIAL

(CENTRUM-Centro de Negocios, 2010, pág. 11)

Las empresas que conforman el sector son 7. A continuación mostramos un gráfico que describe los mercados (regiones) a las que atienden cada una de las empresas.

Figura n° 27: Zonas de influencia geográfica de las empresas cementeras.



Fuente: CENTRUM-Centro de Negocios (2010).

En la presente investigación se utilizó cemento TIPO I, que cumple con la norma NTP 334.009-2013 y la ASTM C 150-2015, fabricado por la empresa PACASMAYO S.A.A, es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. El cemento portland Tipo I se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I y yeso, que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.

Figura n° 28: Cemento Pacasmayo TIPO I



Fuente: <http://www.cementospacasmayo.com.pe/>

3.5.AGUA

3.5.1. AGUA DE LAVADO DE AGREGADOS

Es la utilizada durante el proceso de trituración, para retirar impurezas y exceso de finos presentes en los conglomerantes de los que provienen, así como las partículas muy finas formadas durante la trituración. Debe ser lo suficientemente limpia como para no introducir contaminación. (Sánchez de Guzmán, 1997, pág. 60)

3.5.2. AGUA DE AMASADO O MEZCLADO

La norma ASTM C94 permite usar el agua de lavado que queda dentro de la mezcladora para la mezcla siguiente, siempre y cuando se pueda medir su cantidad con precisión. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1999, pág. 34).

3.5.3. AGUA DE CURADO

Durante el proceso de fraguado y primer endurecimiento del hormigón, tiene por objeto evitar la desecación, mejorar la hidratación del cemento e impedir una retracción prematura.

Tanto el agua de amasado como el agua de curado deben reunir ciertas condiciones para desempeñar eficazmente su función. En general, se debe ser más estricto en la aptitud de un agua para curado. (Jiménez, García, & Morán, 2000, pág. 27).

Tabla n° 22: Valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse en la preparación del concreto.

SUSTANCIAS DISUELTAS	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
P.H.	Mayor de 7
Sólidos en suspensión (limos o arcillas)	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Fuente: Abanto Castillo

Si en el concreto han de estar embebidos elementos de aluminio y/o fierro galvanizado, el contenido de cloruros indicado en la Tabla anterior, deberá disminuir a 50 ppm. (Rivva López, 1992, pág. 25)

El requerimiento de agua es mayor cuanto más angular y rugosos son los agregados usados, desventaja que se encuentra compensada por la mejor adherencia de la pasta de cemento a los mismos. El requerimiento de agua disminuye cuanto mayor es el TM del agregado usado bien gradado. También disminuye el requerimiento de agua con la incorporación de aire y puede ser significativamente reducido por el uso de ciertos aditivos. (Abanto Castillo, pág. 60)

El agua empleada en la preparación y curado de los cubos y bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido, fue el agua del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca, agua extraída de pozos subterráneos, que cumple con los límites máximos y mínimos permisibles según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano según el DS N9 031-2010-SA; cumpliendo así los requisitos de calidad para la elaboración y curado del concreto indicado en la Norma NTP 339.088-2014 en concordancia con la ASTM C 1602-2012.

3.6.DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIGERO A BASE POLIESTIRENO EXPANDIDO.

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 $3/4$ " lo que no se ajusta al tamaño del poliestireno expandido utilizado (05 mm aprox.).

Finalmente luego de haber analizado las diferentes guías ACI para concretos ligeros se optará por utilizar el método que se estable en la guía ACI 523.3R-14: “Guía para Concreto Celular con densidades superiores a 800 kg/m³”, el cual se ajusta a las condiciones de los agregados utilizados en nuestra mezcla debido a que esta guía muestra un método de dosificación general la que se asemeja a la de un mortero, la cual en el último paso de la generación de espuma la adecuaremos a porcentajes de poliestireno expandido modificado, asimismo también se tendrán en cuenta las guías ACI 213R-14 y ACI 212.2 – 98, las cuales nos brindan información importante a considerar, para la obtención de una dosificación que se ajuste a las diferentes guías.

3.6.1. DATOS PRELIMINARES

3.6.1.1. Características de los materiales.

3.6.1.1.1. Agregado Fino.

Las características del agregado fino empleado en el diseño fueron calculadas mediante los procedimientos descritos anteriormente, los resultados influyentes en este estudio se presentan en la siguiente tabla:

Tabla n° 23: Propiedades del agregado fino utilizado

Propiedades del agregado fino	Unidad	Cantera "la Victoria"		
		Arena A*	Arena B**	Arena C***
Peso Específico de masa seca (Gravedad específica) (SS)	gr/cm ³	2.580	2.580	2.591
Absorción	%	1.304	1.379	1.358
PESO ESPECIFICO DE MASA SECA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) (SS)	gr/cm ³	1.481	1.476	1.444
PESO ESPECIFÍCO DE MASA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) (SSS)	gr/cm ³	1.660	1.650	1.575

Fuente: Elaboración propia (2016)

*Arena A: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1200 kg/m³.

**Arena B: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1400 kg/m³.

***Arena C: Arena utilizada para la elaboración de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con densidad de 1600 kg/m³.

3.6.1.1.2. Cemento

El cemento utilizado fue el Cemento Pacasmayo Tipo I, producido por la empresa CEMENTOS PACASMAYO S.A.A., es un cemento de uso general que cumple con los requisitos de la NTP 334.009 y la ASTM C150.

- **Densidad:** 3.12 gr/cm³

3.6.1.1.3. Agua:

El agua empleada en la preparación de la mezcla de Concreto Ligero a base de poliestireno expandido, fue el agua del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca,

agua extraída de pozos subterráneos, cumple con los requisitos de calidad para la elaboración y curado del concreto indicado en la Norma NTP 339.088.

- **Densidad:** 999.7 kg/m³

3.6.1.1.4. Poliestireno expandido modificado. (MEPS)

El poliestireno expandido modificado a utilizar, se obtuvo de los procedimientos descritos en páginas anteriores.

- **Densidad:** 127.17 kg/m³.

3.6.2. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.

El método a utilizar para determinar el diseño es el descrito en la guía ACI 523.3R-14: “Guía para Concreto Celular con densidades superiores a 800 kg/m³”, debido a que la guía ACI 213R-14 no nos otorga un método preciso y significativo con el cual podamos trabajar es por esto que se ha optado el método descrito en la guía ACI 523.3R-14 el cual, si bien es cierto es aplicado para un concreto celular la única diferencia que se haría sería el cambio de la espuma de aluminio por la inclusión de poliestireno expandido modificado.

Se elaborarán mezclas de Concreto Ligero a base Poliestireno expandido con una densidad de 1200 kg/m³, cabe mencionar que los pasos de diseño son los mismos para las densidades de 1400 y 1600 kg/m³, elaborados en este estudio.

De acorde a lo señalado en la guía ACI 523.3R-14 se procede a diseñar el concreto ligero a base de poliestireno expandido modificado:

Se elaborará un m³ de concreto ligero a base de poliestireno expandido modificado que tenga un peso unitario en estado fresco de 1320 Kg/m³ para obtener un peso unitario endurecido de 1200 Kg/m³. Las propiedades de los materiales son las siguientes:

- Densidad del poliestireno expandido modificado (γ_p): 154.17 kg/m³
- Peso específico del cemento (Pec): 3.12 gr/cm³
- Peso específico de masa seca (γ_{ss}): 2.580 gr/cm³ A
- Contenido de humedad de la arena (w): 2% A
- Absorción de la arena (a): 1.304% A
- Peso específico del agua (γ_w): 999.7 kg/m³

- Calculamos la resistencia a la compresión deseada utilizando la siguiente fórmula:

$$f'c = 0.34e^{0.0022\gamma_s}$$

Donde:

$$\gamma_s = \text{Peso unitario en estado endurecido del concreto celular}$$

Reemplazando el valor del peso unitario en estado endurecido obtenemos

$$f'c = 0.34e^{0.0022*1200}$$

$$f'c = 4.76 \text{ MPa} = 48.21 \text{ kg/cm}^2$$

- ii. Asumimos una relación a/c=0.50 (de un rango de 0.45-0.60, según el ACI 523 3R)
- iii. Calculamos la relación af/c (agregado fino/cemento).

$$\frac{af}{c} = \frac{\gamma_f - 673}{345}$$

Donde:

$$\gamma_f = \text{Peso unitario en estado fresco del concreto celular}$$

Reemplazando el valor de γ_f se obtiene:

$$\frac{af}{c} = \frac{1320 - 673}{345} = 1.880$$

- iv. Calculamos el peso unitario en estado endurecido del Concreto Ligero a base de poliestireno expandido modificado usando la siguiente ecuación:

$$\gamma_s = \gamma_f - 122$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$\gamma_s = 1320 - 122$$

$$\gamma_s = 1198 \text{ kg/m}^3$$

- v. Para calcular el contenido de cemento se usará la siguiente ecuación:

$$c = \frac{\gamma_f}{1 + \frac{a}{c} + \frac{af}{c}}$$

Reemplazando los valores obtenidos en los pasos anteriores obtenemos:

$$c = \frac{1320}{1 + 0.5 + 1.88} = 390.532 \text{ kg}$$

- vi. Calculamos la cantidad de agregado fino a utilizar:

$$\frac{af}{c} = 1.88$$

Reemplazando el valor del cemento (c) se tiene:

$$af = 1.88 * 390.532 = 734.201 \text{ kg/m}^3$$

vii. Calculamos la cantidad de agua de diseño a utilizar:

$$\frac{a}{c} = 0.5$$

Reemplazando el valor del cemento (c) se tiene:

$$a = 0.5 * 390.532 = 195.266 \text{ kg/m}^3$$

viii. Calculamos el volumen absoluto de los sólidos (cemento, arena y agua)

$$V_A = \frac{c}{Pec * 1000} + \frac{a}{\gamma_w} + \frac{af}{\gamma_{ss} * 1000}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$V_A = \frac{390.532}{3.12 * 1000} + \frac{195.266}{999.7} + \frac{734.201}{2.580 * 1000}$$

$$V_A = 0.605069 \text{ m}^3$$

ix. Calculamos volumen de aire requerido por unidad de volumen de concreto

$$A_v = 1 - 0.605069 = 0.3949 \text{ m}^3$$

x. Calculamos el peso del poliestireno expandido (EPS) requerido

$$F = A_v * \gamma_e$$

$$F = 0.395 * 154.17 = 60.89 \text{ kg/m}^3$$

xi. Ajuste de la cantidad de agua de diseño debido al contenido de humedad en el agregado fino:

Agua en el agregado fino

$$a_a = Af * \left(\frac{w - a}{100} \right)$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$a_a = 734.201 * \left(\frac{2 - 1.304}{100} \right)$$

$$A_a = 5.110 \text{ kg/m}^3$$

Agua final de mezcla

$$A_m = a - a_a$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$A_m = 195.266 - 5.110 = 190.156 \text{ kg/m}^3$$

- xii. Cantidad de agregado fino corregido:

$$A_c = a + a_a$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$A_c = 734.201 + 5.110 = 739.311 \text{ kg/m}^3$$

- xiii. Las proporciones de la mezcla por metro cubico ajustada son las siguientes:

Cemento:	390.532kg/m³
Agua de mezcla:	190.156 kg/m ³
Agregado Fino:	739.311 kg/m ³
Poliestireno:	60.890 kg/m ³

3.6.3. PROCESO DE ELABORACIÓN

- i. Una vez definida la cantidad de materiales de acuerdo al diseño, se procede a pesar todos los materiales necesarios para la tanda de diseño, incluido el poliestireno expandido luego del proceso térmico descrito.
- ii. Se mezcla inicialmente una porción del agua de mezclado, luego se agrega la arena y el cemento seguido por el poliestireno expandido, finalmente se agrega la cantidad de agua restante, todo esto en aproximadamente 60 segundos.
- iii. Se mezcla el mortero hasta obtener una consistencia uniforme, es decir que no contenga grumos, este procedimiento debe realizarse aproximadamente en 90 segundos, si luego de este tiempo aún no se logra la consistencia deseada alargar el tiempo en 30 segundos más.
- iv. Se verifica la densidad del Concreto Ligero a Base Poliestireno expandido, para ello toma un recipiente de 1 litro y se llena de mezcla hasta el nivel, si el peso de la mezcla es de 1.22 kg, se tendrá una densidad de 1220 kg/m³.
- v. Una vez que se obtiene la densidad deseada se procede a realizar el ensayo de fluidez de acuerdo a la norma ASTM D 1603.
- vi. Se procede a vaciar la mezcla en los moldes metálicos de forma cubica de 100x100x100mm para posteriores ensayos, envarillar cada molde para el correcto vaciado del molde.

Figura n° 29: Proceso de elaboración del Concreto Ligero a Base de Poliestireno Expandido



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.6.4. RESULTADOS DE LA DOSIFICACIÓN

3.6.4.1. DOSIFICACIÓN PARA DENSIDAD APARENTE DE 1200 KG/CM³

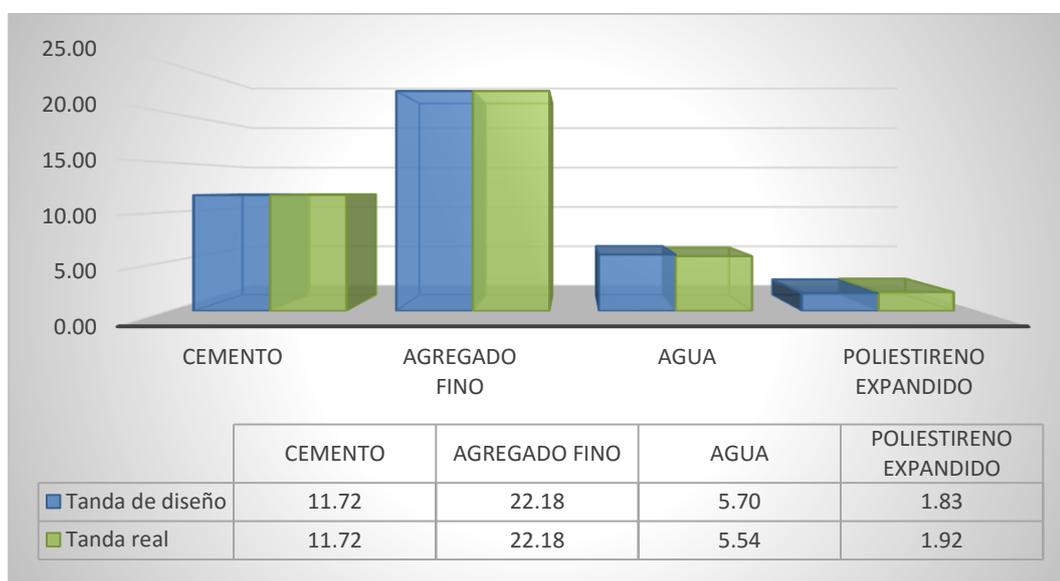
Para llegar a la densidad de 1200 kg/m³ se aumentó la cantidad de agua y se incrementó en 5.11 % la cantidad de poliestireno expandido.

Tabla n° 24: Dosificación del Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido densidad de 1200 KG/CM3

MATERIALES	UNID	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0.03 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	Kg	390.532	11.72	11.72
AGREGADO FINO	Kg	739.311	22.18	22.18
AGUA	lt	190.156	5.70	5.54
POLIESTIRENO EXPANDIDO	Kg	60.89	1.83	1.92
A/C		0.49	0.49	

Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 1: Dosificación del Concreto Ligero para densidad aparente de 1200 Kg/m³



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.6.4.2. DOSIFICACIÓN PARA DENSIDAD APARENTE DE 1400 KG/CM3

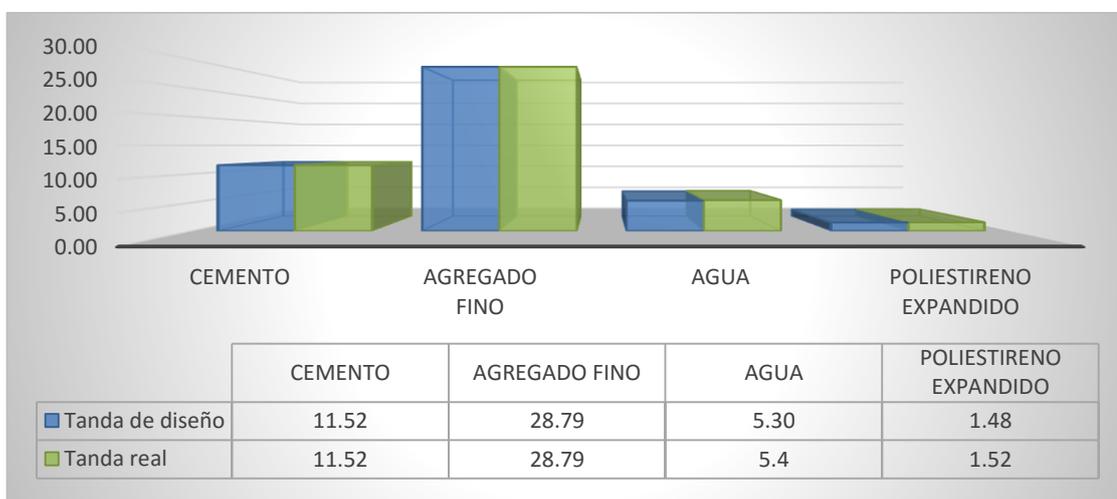
Para llegar a la densidad de 1400 kg/m³ se aumentó la cantidad de agua y se incrementó en 3.02 % la cantidad de poliestireno expandido.

Tabla n° 25: Dosificación del Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido densidad de 1400 KG/CM³

MATERIALES	UNID	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0.03 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	Kg	383.838	11.52	11.52
AGREGADO FINO	Kg	959.55	28.79	28.79
AGUA	lt	176.61	5.30	5.4
POLIESTIRENO EXPANDIDO	Kg	49.18	1.48	1.52
A/C		0.46	0.46	

Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 2: Dosificación del Concreto Ligero para densidad aparente de 1400 Kg/m³



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.6.4.3. DOSIFICACIÓN PARA DENSIDAD APARENTE DE 1600 KG/CM³

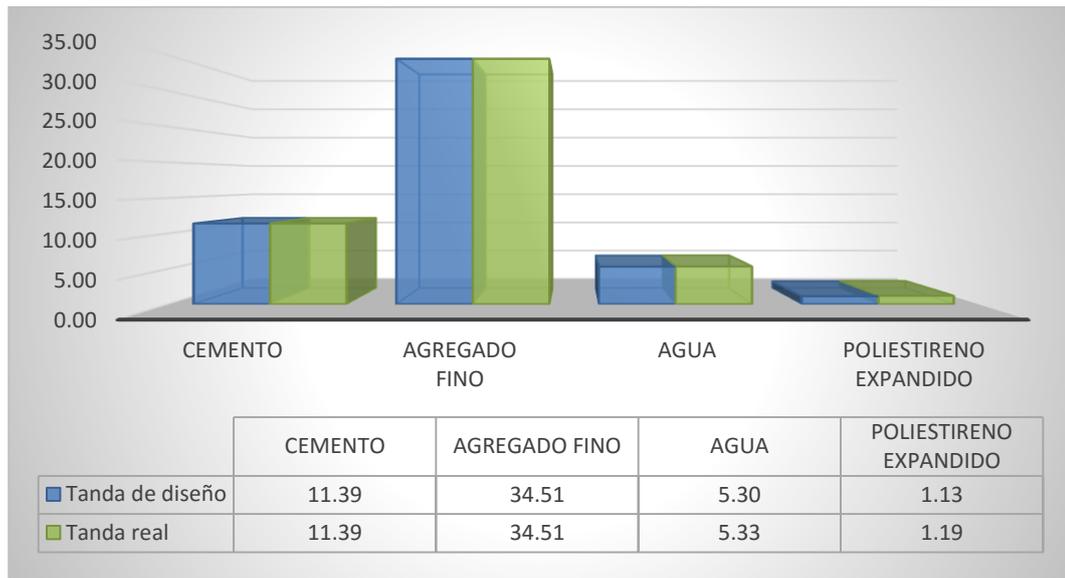
Para llegar a la densidad de 1600 kg/m³ se aumentó la cantidad de agua y se incrementó en 5.31% la cantidad de poliestireno expandido.

Tabla n° 26: Dosificación del Concreto Ligero a base de Poliestireno Expandido densidad de 1600 KG/CM³

MATERIALES	UNID	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0.03 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	Kg	379.691	11.39	11.39
AGREGADO FINO	Kg	1150.464	34.51	34.51
AGUA	lt	176.708	5.30	5.33
POLIESTIRENO EXPANDIDO	Kg	37.68	1.13	1.19
A/C		0.47	0.47	

Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 3: Dosificación del Concreto Liger para densidad aparente de 1600 Kg/m³



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.6.5. ESPECIFICACIONES DE ESPECIMENES DE ENSAYO

Debido a que el proceso de elaboración del Concreto Liger a base de Poliestireno expandido y la naturaleza heterogénea de la sección transversal de los bloques de Concreto Liger a elaborar luego de hallada la dosificación óptima, los usos de especímenes cilíndricos para ensayos a compresión no proporcionarán una estimación realista de la resistencia a la compresión del Concreto Liger a base de Poliestireno expandido.

Para el presente estudio se decidió utilizar cubos de 100x100x100 mm, la razón de esta decisión es que la aplicación principal de Concreto Liger a base Poliestireno expandido está en la prefabricación de paneles y bloques. Por tanto, se analizó especímenes cúbicos para comprender el comportamiento de los bloques de Concreto Liger a base Poliestireno expandido que se elaboraron posterior a la determinación de la dosificación óptima.

Figura n° 30: Especímenes de Concreto Ligero de 100mm x 100mm x 100mm



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.6.6. CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

La guía ACI 213R-2014, no menciona ni recomienda ningún tipo de curado para este tipo de concreto ligero, no obstante, para el presente estudio se ha optado por un curado diferente siguiendo recomendaciones de la norma Australiana AS 1012, la cual menciona que las probetas de concreto ligero totalmente saturados tendrán una fuerza de compresión más baja debido a las presiones de poros internos. Por lo tanto, el curado normal sumergido en agua no puede ser considerado como un método de curado estándar para el Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido y no representará la resistencia real del Concreto Ligero.

Entonces siguiendo recomendaciones de la norma AS 1012, los especímenes fueron mantenidos en un baño de agua durante 4 días antes de colocarlos dentro de bolsas de plástico para simular condiciones de 100% de humedad.

Figura n° 31: Proceso de curado de especímenes de concreto ligero a base de poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.7. ENSAYOS DEL CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO DE EXPANDIDO

El Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido estudiado en esta investigación fue sometido a diferentes ensayos para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, para ello fue necesario someter la mezcla a ensayos programados para obtener: en estado fresco, la consistencia o fluidez y la cantidad de aire contenido, y para el estado endurecido, la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, densidad y absorción de agua, todo esto con la finalidad obtener una dosificación óptima para elaborar bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido.

3.7.1. CONSISTENCIA O FLUIDEZ DE LA MEZCLA

El ACI y las normas ASTM no prevén ensayos de fluidez para Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido. El presente estudio considera adecuados realizarlos, por cuanto se trata de un material que va a ser utilizado para elaborar bloques de Concreto Ligero, debiendo cumplir con determinados requerimientos. El Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido posee características similares a los materiales de baja densidad y baja resistencia controlada (LD-CLSM), productos bastante estudiados que

cuentan con abundante información y normativas, de forma que, pruebas de laboratorio que normalmente se aplican a estos materiales, de baja densidad y resistencia controladas, se pueden aplicar, con ciertas restricciones, a los concretos ligeros.

La consistencia o fluidez, es la propiedad que distingue al Concreto Ligero de otros concretos convencionales, representa la cualidad que permite fluir al material, auto-compactarse, auto-nivelarse y llenar completamente los vacíos, en moldes y encofrados, sin la necesidad de utilizar equipo adicional de distribución y compactación.

La forma más adecuada para medir la consistencia del Concreto Ligero es el ensayo de fluidez modificado, conforme a la norma ASTM D 6103-2004, “Consistencia de flujo en material de resistencia baja controlada”. El ensayo consiste en la utilización de un cilindro de 76 ± 3 mm de diámetro y 150 ± 3 mm de altura abierto en ambos extremos. Se alcanza una buena fluidez cuando no se note segregación y el material se disperse en un diámetro comprendido entre 200 – 300 mm.

Por facilidad y costumbre, se utiliza con mucha frecuencia el método alternativo de ensayo conforme a la norma ASTM C 143-2015. “Asentamiento de concreto de cemento portland” (Imagen N° 36). Método del cono de asentamiento o Cono de Abrams, molde metálico troncocónico de 300 mm de alto, 100 mm de diámetro superior y 200 mm de diámetro inferior, que evalúa la consistencia cuando se esperan revenimientos menores a 200 mm que se enmarcan dentro de los siguientes parámetros:

- ✓ Baja fluidez: 150 mm o menos
- ✓ Fluidez media: 125 -200 mm
- ✓ Alta fluidez: superior a 200 mm

Para el presente estudio se ha medido la fluidez según lo establecido en la norma ASTM D 6103, los aparatos y/o equipos y el procedimiento realizado se describe a continuación:

❖ **Aparatos:**

- **Cilindro de flujo:** El cilindro de flujo debe ser un $150 \pm 3,0$ mm ($6'' \pm 1/8$ pulg.) de longitud de $76 \pm 3,0$ mm ($3'' \pm 1/8$ pulg.) en el interior de diámetro, de ser una tubería recta de acero, plástico u otro no absorbente.
- **Mazo:** Con cabeza de hule de peso aproximado a 0.8 Kg.

- **Superficie lisa:** cuadrada no porosos de 0.6 m o más grande, hecho de un material no poroso no corrosivo, tal como acrílico, fundición de aluminio, o acero inoxidable.
- **Wincha:** Dispositivo de medición, capaz de medir el diámetro propagación. Debe ser capaz de medir un mínimo de 6 mm (1/4 pulga).
- **Cronometro o reloj:** capaz de medir intervalos de tiempo de 1 segundo.

❖ **Procedimiento**

- Se colocó el cilindro sobre una superficie plana y nivelada que es libre de vibraciones u otras perturbaciones.
- Se humedeció el cilindro con agua y se colocó en una superficie plana no porosa lisa.
- Se procedió a llenar el cilindro de flujo hasta rebosar y luego se niveló la superficie con un borde recto adecuado. Se retiró cualquier derrame de la mezcla después de golpear con el mazo con cabeza de hule.
- Después de los 5 segundos de llenado, se elevó el cilindro de flujo de forma rápida y cuidadosamente en una dirección vertical. Elevar el cilindro de flujo de al menos 15 cm (6,0 pulg.) Por una constante elevación hacia arriba sin movimiento lateral o torsión en un período de tiempo entre 2 y 4 segundos.
- Se completó toda la prueba sin interrupción dentro de un tiempo transcurrido de 1-1/2 min.
- Inmediatamente después se midió el diámetro de mayor difusión resultante. Se tomó dos mediciones de la propagación de diámetro perpendiculares entre sí.

Figura n° 32: Ensayo de fluidez del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido



Fotos de arriba: Ensayo de fluidez ASTM D 6103

Fotos de abajo: Ensayo de fluidez ASTM C 143

3.7.2. CONTENIDO DE AIRE

Existen varios métodos para determinar el aire incorporado en el concreto convencional fresco; ASTM C 173-2014 (Método Volumétrico), ASTM C 138-2015 (Método Gravimétrico), ASTM C 231-2014 (Método de Presión), entre otros. Para el presente estudio se tomará el método de ensayo ASTM D 6023-2007 “Método de ensayo para Peso Unitario, Contenido de Aire y Rendimiento en Material de Baja Resistencia Controlada”, método basado en el ensayo ASTM C 138-2015 “Peso unitario, rendimiento

y contenido de aire del concreto fresco”, que cubre el proceso para determinar el contenido de aire de una muestra elaborada con cualquier tipo de agregado, sea denso, celular o liviano. Se mide el contenido de aire de la fracción del mortero, independiente del aire que pudiera estar presente en las partículas del agregado.

De acuerdo a la norma ASTM D 6023-2007 se procedió a realizar el ensayo, los aparatos y/o equipos y el procedimiento se describen a continuación:

❖ **Aparatos**

- **Balanzas:** Una balanza con exactitud dentro del 0.3% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 0.05 kg.
- **Aparatos de llenado:** Cucharas, baldes o palas de suficiente capacidad para facilitar el llenado del medidor de una manera rápida y eficiente.
- **Recipiente:** Un contenedor cilíndrico hecho de acero u otro metal adecuado. Este deberá ser impermeable y suficientemente rígido para retener su forma y volumen calibrado bajo uso repetido.
- **Mazo:** Con cabeza de hule de peso aproximado a 0.8 Kg.

❖ **Procedimiento**

- Se colocó el recipiente en una superficie horizontal, rígida y nivelada, libre de vibración y otras perturbaciones.
- Se mezcló completamente la muestra de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido, luego con se tomó cucharadas de la porción central de la muestra y se introdujo dentro del recipiente. Se repitió este procedimiento hasta llenar el recipiente, después llenar cada capa, se golpeó suavemente los lados del recipiente con el mazo) usando la fuerza requerida para liberar las burbujas grandes de aire que hayan sido atrapadas. Añadir la última capa evitando sobrellenar el recipiente.
- Después de completar el llenado se enrasó la superficie teniendo gran cuidado para salir del medidor ajustado al nivel lleno.
- Limpieza y Medición de la Masa – después de enrasar, se limpió todo el exceso de Concreto Ligero del exterior del medidor y se determinó la masa del molde más la muestra.

❖ **Cálculos**

Densidad de masa (peso unitario)

$$D = \frac{Mc + Mm}{Vm}$$

Donde:

D = Densidad de masa (peso unitario) del concreto, kg/m³

Mc = Masa del recipiente de medida lleno de concreto, kg

Mm = Masa del recipiente vacío, kg

Vm = Volumen del recipiente, m³

Densidad teórica

$$T = M/V$$

Donde:

T = Densidad teórica del hormigón, kg/m³

M = Masa total de todos los materiales en la tanda, kg

V = Volumen absoluto de los ingredientes componentes de la mezcla, m³

Contenido de aire

$$A = [(T - D)T]X100$$

Dónde:

A = Contenido de aire, %

T = Densidad teórica, kg/m³

D = Densidad de masa (peso unitario) del Concreto Ligero, kg/m³

❖ **Expresión de resultados**

Los resultados se encuentran en el Capítulo IV.

Figura n° 33: Ensayo de densidad de masa del Concreto Ligero



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.7.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para determinar la resistencia a compresión del Concreto Ligero el ACI indica que se debe seguir los requisitos de la norma ASTM C 495-2012 “Método normalizado para determinar la resistencia a la compresión en concretos livianos”, esta norma establece que las muestras representativas para el ensayo a compresión, se toman en moldes cilíndricos de 75 mm de diámetro por 150 mm de longitud, sin embargo como ya se ha mencionado anteriormente las muestras han sido tomadas en cubos de 100x100x100 mm, la razón de esta decisión es que la aplicación principal de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido está en la prefabricación de paneles y bloques y como es la finalidad de este estudio diseñar un bloque de Concreto Ligero se optó por lo antes mencionado.

Esta prueba ha sido realizada de acuerdo a lo descrito por Phan (2005), quien ha demostrado que cubos de 100 x 100 mm pueden ser utilizados para medir la resistencia a la compresión del Concreto Ligero. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión de 7, 14 y 28 días, para establecer la fuerza en cada edad, 5 ejemplares de cada dosificación fueron probados bajo compresión.

Los aparatos y el procedimiento realizado se describen a continuación:

❖ **Aparatos:**

- **Máquina universal de compresión:** Se usó una máquina de compresión hidráulica con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todos los procesos de ensayos.
- **Placas:** Se utilizó dos placas de acero colado de espesor de 25.4mm, para colocarlos en las caras de los especímenes, para que estos se presenten nivelados y paralelos y la carga se distribuya uniformemente.
- **Vernier:** Aparato de medición con lecturas que deberán tener una precisión de 0.01 mm.
- **Defórmimetro:** Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.

❖ **Procedimiento:**

- Se midió las dimensiones de la cara superior e inferior del cubo además de la altura del mismo, las mediciones fueron tomadas en forma perpendicular una de la otra.
- Se limpió la superficie interior de máquina universal a compresión, se coloca una de las placas en la máquina y sobre la placa se acondiciona el cubo, luego se coloca la otra placa sobre la cara superior del cubo y se alinea placas y cubo con el eje de la barra de acero de aplicación de carga, se calibra la máquina antes de aplicar la carga y se pone en contacto la placa superior con la barra de acero que aplica la carga. Luego se verificó que el indicador de carga se encuentre en cero, para poder empezar el ensayo, adicionalmente se utilizó un deformímetro para medir deformaciones.
- Se aplica la carga de ensayo de manera continua y sin golpe, el régimen de carga con la máquina de compresión se debe mantener en un rango de 0.05 a 0.20 MPa/s durante la última fase de la carga, esto depende de la densidad del bloque ensayado.

❖ **Cálculos:**

Luego de registrados los resultados se calcula según la siguiente fórmula:

$$C = PA$$

Donde:

C = resistencia a la compresión

A = área promedio de las caras del cubo

P = carga máxima

❖ **Expresión de resultados**

Los resultados se encuentran en el Capítulo IV.

Figura n° 34: Ensayo de resistencia a la compresión en cubos de Concreto Ligero



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.7.4. MÓDULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad de un material, es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. La elasticidad, es la propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones variables por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre los cilindros y/o cubos de prueba, varía por la forma y dimensión de un cuerpo. Los cilindros y/o cubos fallan cuando el material supera las fuerzas internas de cohesión.

Es importante el módulo de elasticidad ya que este influye en las deflexiones, derivas y rigidez, se puede conocer el acortamiento por carga axial de un elemento estructural a más de que se puede tener una noción para diseñar con mayor seguridad y evitar grandes deformaciones. Este ensayo se realiza según la norma ASTM C 469-2014 para el concreto convencional.

Para el presente estudio del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido, la guía de ACI 213R-14, establece que el módulo de elasticidad debe ser calculado de acuerdo a lo indicado por el ACI 318S, que permite calcular el módulo de elasticidad por la ecuación que se muestra a continuación:

$$E_c = 0.043w_c^{1.5}\sqrt{f'_c} \text{ Mpa}$$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad, Mpa

w_c = Densidad del concreto, kg/m³

f'_c = Resistencia a la compresion del concreto, Mpa

❖ **Expresión de resultados**

Los resultados se encuentran en el Capítulo IV.

Figura n° 35: Medición de deformaciones en especímenes cúbicos de Concreto Ligero



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.7.5. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

El peso específico es uno de los parámetros importantes en el concreto, ya que influye en los cálculos principales de diseño estructural, control de calidad del hormigón

en obra entre otros, las densidades aparentes propuestas inicialmente en este estudio fueron de 1200, 1400 y 1600 [kg/cm³], estos valores son referenciales, para saber a qué pesos específicos finalmente se llegó en este estudio.

El peso específico y la absorción se realizan de acuerdo a la norma ASTM C 642-2013, y los aparatos y el procedimiento de ensayo se describen a continuación:

❖ **Aparatos:**

- **Balanza:** sensible a 0,025 % de la masa del espécimen.
- **Recipiente:** adecuado para la inmersión de la muestra y alambre adecuado para la suspensión de la muestra en agua.
- **Tanque de agua:** Un recipiente hermético, en el que se coloca el recipiente de la muestra mientras está suspendido debajo de la balanza.
- **Estufa:** Una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C ± 5 °C

❖ **Procedimiento:**

- Se Determinar la masa de los especímenes secos al horno, a una temperatura de 100 a 110 ° C por no menos de 24 h. Después de retirar cada espécimen del horno, se dejó que se enfríe al aire y se determinó la masa, repitiendo el procedimiento hasta que la diferencia entre dos valores sucesivos sea menor que 0,5% del menor valor obtenido.
- Se sumergió los especímenes en agua a 21 °C por un periodo no menor de 48 horas, luego se retiró los especímenes del agua y con una toalla se remueve la humedad superficial de los especímenes para dejarlos en condición de saturados de superficie seca y se determinó su masa.
- Después de retirar los especímenes del agua y dejarlos en condición de saturados con superficie seca, se suspendió los especímenes dentro del agua por un alambre y se determinó su masa sumergida aparente.

❖ **Cálculos:**

Usando los valores de la masa determinados de acuerdo a los procedimientos descritos anteriormente, se procede a la ejecución de los siguientes cálculos.

$$\text{Peso específico} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{W_d * \rho}{W_s - W_i}$$

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \frac{W_s - W_d}{W_d} * 100$$

Donde:

W_d = Peso del espécimen seco al horno, al aire (gr)

W_s = Peso de espécimen en condición superficie saturada seca, (gr)

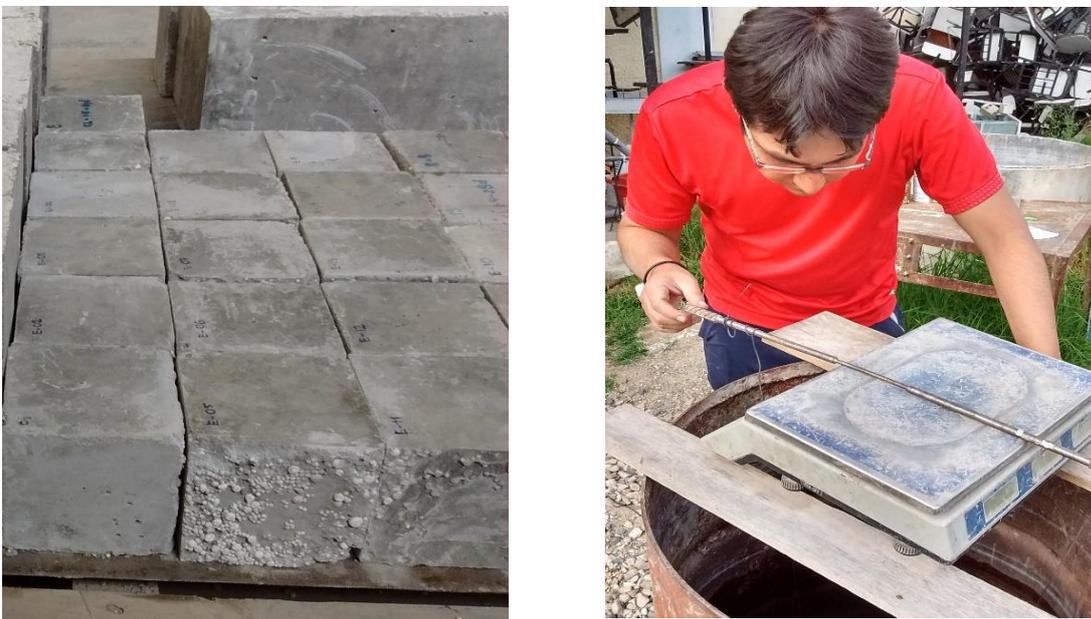
W_i = Peso del espécimen suspendido en agua, (gr)

ρ = Densidad del agua, (kg/cm³)

❖ Expresión de resultados

Los resultados se encuentran en el Capítulo IV.

Figura n° 36: Densidad y absorción del especímenes cúbicos de Concreto Ligero



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.8.DISEÑO Y ELABORACION DE BLOQUES DE CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

Existen una gran gama de posibilidades para el uso de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido, entre menor sea la densidad, más provecho económico se tendrá del Concreto Ligero, las piezas más comunes son bloques entre 1200 y 1600 kg/m³, placas de entrepiso de 1350 y 1600 kg/m³, rellenos fluidos sobre azoteas de 500 a 400 kg/m³, protecciones contra fuego especializadas de 600 y 800 kg/m³, baldosas en Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con acabados a mano para decoración con densidades de 800 y 1000 kg/m³.

Entonces partiendo de la gran gama de usos del Concreto Ligero a base de Poliestieno expandido se propuso como objetivo diseñar un bloque que cumpla con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Peruana para ser usado como unidad de albañilería no estructural, es por ello que luego del sinnúmero de dosificaciones y pruebas se culminó el diseño del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido, dejando los especímenes cúbicos en el laboratorio para poder hacerles un seguimiento y curado adecuado, y después de 28 días en los que ya se podían valorar los resultados se procedió a elaborar los bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con la dosificación que arrojó mejores resultados.

3.8.1. DOSIFICACIÓN ÓPTIMA

Después de un sin número de ensayos en estado fresco y endurecido del Concreto Celular para densidades de 1200 kg/m³, 1400 kg/m³ y 1600 kg/m³ se obtuvo la dosificación óptima, esta dosificación fue la de 1600 kg/m³ con la que se obtuvo la mayor resistencia a la compresión, resistencia que superaba holgadamente la resistencia mínima establecida en la NTP 399.600-2010 y NTP 399.602-2002 para bloques de concreto de uso no estructural y estructural.

Tabla n° 27: Dosificación óptima para el diseño de bloques de Concreto Ligero a base de Poliestieno expandido 1600 kg/m³

MATERIALES	UNID	POR M3	TANDA DE DISEÑO (0.03 m3)	TANDA REAL
CEMENTO	Kg	379.691	11.39	11.39
AGREGADO FINO	Kg	1150.464	34.51	34.51
AGUA	lt	176.708	5.30	5.33
POLIESTIRENO EXPANDIDO	Kg	37.68	1.13	1.19
A/C		0.47	0.47	

Fuente: Elaboración propia (2016)

Esta dosificación fue usada para elaborar los bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido y se siguió exactamente los mismos pasos de diseño y el proceso de elaboración de los especímenes cúbicos elaborados para determinar la dosificación óptima.

3.8.2. DIMENSIONES DEL BLOQUE

Las dimensiones del bloque están dadas por sus dimensiones reales, que corresponden a la unidad prototipo. Las dimensiones usualmente consideradas en las normas son las siguientes:

Tabla n° 28: Dimensiones de los bloques de concreto para uso no estructural

Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
29	19	29
39	19	19
39	29	19
29	24	29

Fuente: NTP 399.602-2002

Para su utilización en albañilería armada y confinada, pueden emplearse unidades de las siguientes dimensiones:

Tabla n° 29: Dimensiones de los bloques de concreto para uso no estructural

Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)
29	14	19
39	14	
39	12	

Fuente: NTP 399.602-2002

Para las unidades estándar, el total de las dimensiones (ancho, alto y longitud) no debe diferir por más de ± 3 mm de las dimensiones especificadas. Además, pueden adoptarse otras dimensiones según las medidas modulares de la Norma Técnica Peruana 400.006.

De acuerdo a lo visto anteriormente en cuanto a las dimensiones del bloque, se optó por elaborar un bloque de Concreto Ligero a base de Poliestieno expandido de 09x19x39 cm, dimensiones que están acorde a lo estipulado en la NTP 399.602 y la NTP 400.006 y que favorecen al peso de la unidad ya que se elaboró un bloque solido con una densidad aparente de 1600 kg/m³ y que es mucho más liviano que un bloque de concreto convencional.

Figura n° 37: Moldes metálicos de 09x19x39 cm para elaborar los bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.8.3. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN

Para elaborar los bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido se usó la misma metodología que se siguió para elaborar los especímenes cúbicos visto anteriormente en el apartado 3.6.3

Figura n° 38: Proceso de elaboración de los bloques de Concreto Ligero



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.8.4. CURADO

El curado de los bloques de Concreto Ligeró a base de Poliestireno expandido se hizo igual que el curado los especímenes cúbicos, los bloques fueron sometidos a un baño de agua durante 7 días y luego fueron cubiertos por un plástico para evitar pérdida de humedad y contribuir así a su curado.

3.8.5. ALMACENAMIENTO

Luego del curado de los bloques de Concreto Ligeró a base de Poliestireno expandido descrito en líneas anteriores, se procedió a almacenar los bloques cubiertos por un plástico en un lugar amplio y de fácil acceso con un piso limpio, firme y nivelado. Después de 28 días los bloques fueron utilizados para realizar los ensayos respectivos.

Figura n° 39: Almacenamiento de bloques de Concreto Ligeró



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.9. ENSAYOS EN BLOQUES DE CONCRETO LIGERO

3.9.1. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

El ensayo peso específico y absorción en bloques de Concreto Ligeró a base de Poliestireno expandido se realizó de acuerdo a lo establecido en la NTP 399.604-2002.

Para este ensayo los especímenes deberán estar secos. La absorción de cada espécimen se medirá como la relación que existe entre el peso del agua absorbida por la unidad de albañilería después de haberla sumergido durante 24 horas en una poza de agua y su peso en estado inicial multiplicada por 100. Se adoptará como absorción (en porcentaje) al valor promedio de la muestra ensayada. Para el caso de bloques de concreto el porcentaje de absorción no debe ser superior a 12 %.

❖ **Aparatos:**

- **Balanza:** sensible a 0,025 % de la masa del bloque.
- **Recipiente:** adecuado para la inmersión de la muestra y alambre adecuado para la suspensión del espécimen en agua.
- **Tanque de agua:** Un recipiente hermético, en el que se coloca el espécimen mientras está suspendido debajo de la balanza.
- **Estufa:** Una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

❖ **Procedimiento:**

- Se pesó el espécimen en estado natural.
- Se sumergió los especímenes de prueba en agua por 24 horas, luego de transcurridas las 24 horas se los retiró de la agua y se pesó los especímenes mientras están suspendidos por un alambre de metal y sumergidos totalmente en agua, se registró este dato como W_i (peso sumergido).
- Se procedió a sacar del agua y permitir el drenado por 1 minuto colocándolo en una malla de alambre más grueso de 9,5 mm, retirando el agua superficial visible con un paño húmedo; se pesó y se registró este dato como W_s (peso saturado).
- Subsecuente a la saturación, se secó los especímenes en un horno ventilado a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ por no menos de 24 horas y hasta que dos pesadas sucesivas en intervalos de 2 horas mostraron un incremento de la pérdida no mayor que 0,2 % del peso último previamente determinado del espécimen. Se registró los pesos de los especímenes secados como W_d (peso secado al horno).

❖ **Cálculos:**

Absorción: Calcular la absorción como sigue:

$$\text{Absorción, (kg/m}^3\text{)} = \frac{W_s - W_d}{W_s - W_i} * 100$$

$$\text{Absorción, (\%)} = \frac{W_s - W_d}{W_d} * 100$$

Donde:

W_d = Peso del espécimen seco al horno, al aire (gr)

W_s = Peso de espécimen en condición superficie saturada seca, (gr)

W_i = Peso del espécimen suspendido en agua, (gr)

Peso específico: Calcular el peso específico seco al horno como sigue:

$$\text{Peso específico (Pe), kg/m}^3 = \frac{W_d}{W_s - W_i} * 100$$

❖ **Resultados:**

Los resultados se muestran en el capítulo IV.

Figura n° 40: Ensayo de densidad y absorción de bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.9.2. COMPRESIÓN SIMPLE DE UNIDADES

El ensayo de resistencia a la compresión simple en bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido se realizó de acuerdo a lo establecido en la NTP 399.604-2002.

La resistencia a la compresión de la albañilería (f'_{cb}) es su propiedad más importante. En términos generales, define no sólo el nivel de su calidad estructural, sino también el nivel de su resistencia a la intemperie o a cualquier otra causa de deterioro.

Los requisitos de resistencia y absorción que debe cumplir los bloques tanto para uso estructural como no estructural se muestra en las siguientes tablas:

Tabla n° 30: Requisitos de resistencia de bloques no estructurales

Resistencia a la compresión respecto al área bruta promedio, min, Mpa	
Promedio de 03 unidades	4.2
Unidad individual	3.5

Fuente: NTP 399.600-2010

Tabla n° 31: Requisitos de resistencia de bloques estructurales

Resistencia a la compresión respecto al área bruta promedio, min, Mpa		Absorción, máx., % (Promedio de 03 unid.)
Prom. 3 unid.	Unidad individual	12
7	6	

Fuente: NTP 399.602-2002

❖ **Aparatos:**

- **Máquina universal a compresión:** Se usó una máquina de compresión hidráulica con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todos los procesos de ensayos.
- **Placas:** Se utilizó dos placas de acero colado de espesor de 25.4mm, para colocarlos en las caras de los bloques, para que estos se presenten nivelados y paralelos y la carga se distribuya uniformemente.
- **Deformimetro:** Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.

❖ **Procedimiento:**

- Se tomaron 15 bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido, los cuales fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días (15 unidades por cada edad).

- Se registró su peso y se midió el largo, ancho y alto de las unidades a ensayar. Luego se ensayaron en la maquina universal para ensayos a la compresión.
- Para cada bloque ensayado se tomó datos de deformación cada 500 kg para posteriormente encontrar su módulo de elasticidad.

❖ **Cálculos:**

La resistencia a la compresión del área bruta se determinó dividiendo la carga máxima entre el área bruta, según la NTP 399.604.

$$f'_b = \frac{P_m}{A_b}$$

Donde:

f'_b = Resistencia a la compresión del área bruta.

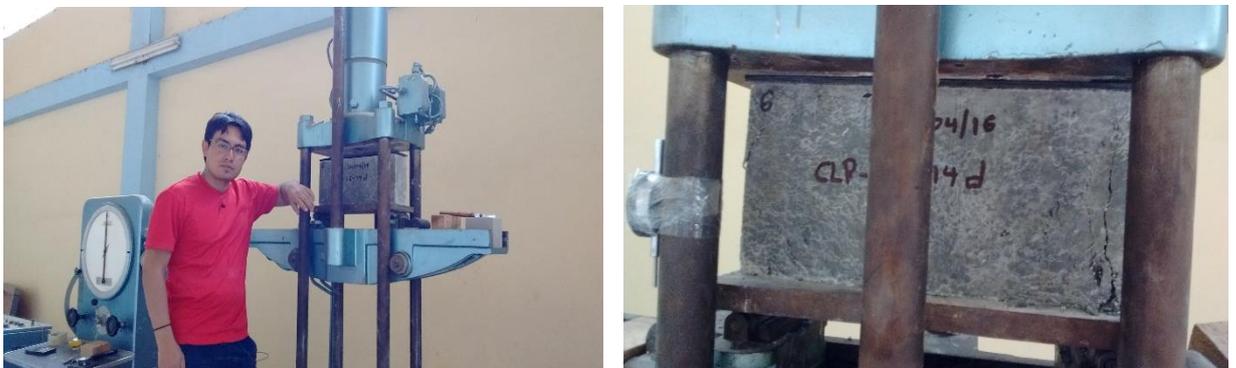
P_m =Carga máxima, kg.

A_b = Área bruta, cm².

❖ **Resultados:**

Los resultados se muestran en el capítulo IV.

Figura n° 41: Ensayo de resistencia a la compresión-bloques de Concreto Liger a base de Poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.9.3. RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Al igual que la resistencia a compresión, la resistencia a tracción por flexión solo constituye una medida de la calidad de la unidad. La técnica de ensayo empleada consiste en someter la unidad a la acción de una carga concentrada creciente, a una velocidad de

desplazamiento entre los cabezales de la máquina de ensayo de 1.25mm/min. Este ensayo se desarrolló acorde a la NTP 339.079-2001 o su equivalente la ASTM C 293-2012.

❖ **Aparatos:**

- **Máquina universal a tracción:** Se usó una máquina de tracción hidráulica con alimentación de energía eléctrica, teniendo la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. Así mismo se pudo operar con energía constante, siendo capaz de aplicar cargas continuas durante todos los procesos de ensayos.
- **Vernier:** Aparato de medición con lecturas que deberán tener una precisión de 0.01 mm.
- **Regla:** De metal con aproximación de 0.5 mm.
- **Deformímetro:** Aparato de medición de desplazamientos con precisión de 0.005 mm.

❖ **Procedimiento:**

- Se limpió los apoyos de la máquina de tracción y se los colocó dejando una luz libre de 340 mm, se colocó el espécimen con de forma horizontal sobre los apoyos dejando en cada costado espacios de 2.5 cm, se elevó la traviesa hasta colocar el espécimen en contacto con la barra distribuidora de carga. Luego, se verificó que el indicador de carga se encuentre en cero, para poder empezar a aplicar la carga. También se utilizó un deformímetro colocado sobre el espécimen para medir deflexiones.
- Se aplicó la carga hasta que el espécimen falló y se registró la máxima carga soportada por el espécimen.

❖ **Cálculos:**

La resistencia a tracción por flexión se calcula mediante la fórmula de flexión simple de resistencia de materiales.

$$f_t = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Donde:

f_t = Resistencia a la tracción por flexión, kg/cm².

P = carga máxima, kg.

L = Longitud entre apoyos, cm.

b = Ancho de la unidad, cm.

h = Altura de la unidad, cm.

❖ **Expresión de resultados:**

Los cálculos y resultados se muestran en el capítulo IV.

Figura n° 42: Ensayo de resistencia a tracción por flexión en bloque de Concreto Ligerado a base de Poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia (2016)

CAPÍTULO IV



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Por medio de tablas, fotos y gráficos, se presenta el respectivo análisis de resultados de los ensayos detallados en el Capítulo III. El análisis y discusión de los resultados se presentan a continuación.

4.1.ELECCION DEL TIPO DE ARENA

En el presente estudio solo se utilizó arena de una sola cantera, pero con diferentes granulometrías, esto debido a que la granulometría del agregado fino es uno de los parámetros que afecta a la resistencia del Concreto, es por ello que la granulometría varió en función a la densidad del Concreto Ligero, se tomó esta decisión en base a la experiencia de muchos fabricantes de aditivos y plantas de prefabricados de Concreto Ligero, quienes recomiendan usar diferentes granulometrías en base a la densidad del Concreto Ligero. Las granulometrías usadas en esta investigación se detallan a continuación:

Arena A: Para elaborar Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido de densidad aparente de 1200 kg/m³, se optó por una granulometría del agregado fino con un tamaño máximo de partículas de 3 mm. El material previamente fue seleccionado y reducido al tamaño de partículas deseado. Para este tipo de arena se obtuvo un módulo de finura de 2.71.

Arena B: Para elaborar Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido de densidad aparente de 1400 kg/m³, se optó por una granulometría del agregado fino con un tamaño máximo de partículas de 6 mm. El material previamente fue seleccionado y reducido al tamaño de partículas deseado. Para este tipo de arena se obtuvo un módulo de finura de 2.65.

Arena C: Para elaborar Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido de densidad aparente de 1600 kg/m³, se optó por una granulometría del agregado fino con un tamaño máximo de partículas de 9 mm. El material previamente fue seleccionado y reducido al tamaño de partículas deseado. Para este tipo de arena se obtuvo un módulo de finura de 2.47.

Analizados los resultados para las tres granulometrías usadas, como se observa en el Gráfico 12, 13 y 14 (Anexo I), las curvas granulométricas se encuentran dentro de los límites previstos en el ASTM C 33, sin embargo, no presenta una distribución apropiada

de partículas. El módulo de finura de la arena A, B y C está dentro de límites previsto por la norma ASTM C 125 (2,3 a 3,1).

Se calcula el coeficiente de uniformidad y de curvatura de acuerdo al gráfico de granulometría de cada arena y según la siguiente fórmula:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Tabla n° 32: Determinación del coeficiente de uniformidad

ITEM	D10 (mm)	D30 (mm)	D60 (mm)	Cu	Cc
Arena A	0.19	0.39	0.73	3.84	1.10
Arena B	0.20	0.38	0.74	3.70	0.98
Arena C	0.19	0.39	0.70	3.38	1.11

Fuente: Elaboración propia (2016)

4.2. ANÁLISIS DE LA CONSISTENCIA DE LA MEZCLA

Se determinó el diámetro de dispersión de doce tandas de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido para cada tipo de densidad aparente, una para cada densidad, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla n° 33: Resultados de diámetros de dispersión de la mezcla según la densidad del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido

Densidad Aparente	N° de Tanda	Relación (a/c)	Diámetro de dispersión (cm)
1200 kg/m ³	Tanda N°1	0.456	22.0
	Tanda N°2	0.472	22.3
	Tanda N°3	0.486	22.1
1400 kg/m ³	Tanda N°4	0.467	21.2
	Tanda N°5	0.482	21.5
	Tanda N°6	0.496	21.3
1600 kg/m ³	Tanda N°7	0.456	20.4
	Tanda N°8	0.513	20.8
	Tanda N°9	0.534	20.2

Fuente: Elaboración propia (2016)

Se observa en la Tabla N° 32 que los diámetros de dispersión de las mezclas son inversamente proporcionales a las densidades de las mismas, es decir que mientras más aumenta la densidad menor es el diámetro de dispersión.

En cuanto a la influencia de la relación a/c en la dispersión del diámetro de la mezcla se observó que a mayor relación a/c mayor es el diámetro de dispersión.

Entonces de acuerdo a los resultados analizados podemos verificar que ninguna de las tandas presentó diámetros de dispersión fuera del rango de 20 -30 cm establecido en la ASTM D 6103-97 y por ende concluir que la fluidez de las mezclas ha sido la correcta, esto indica que al momento de vaciar la mezcla no se necesitará vibrar la misma.

Figura n° 43: Ensayo de consistencia del Concreto Ligero a base de Poliéstireno expandido



Fuente: Elaboración propia (2016)

4.3. ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE AIRE DE MEZCLA

4.3.1. PESO UNITARIO EN ESTADO FRESCO Y CONTENIDO DE AIRE

Se determinó el contenido de aire mediante el método de ensayo ASTM D6023, basado en el ensayo ASTM C138 de nueve tandas de Concreto Ligero, tres tandas por cada densidad aparente del Concreto Ligero a base de Poliéstireno expandido, luego se calculó el promedio, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla n° 34: Resultados de peso unitario en estado fresco y contenido de aire de las mezclas de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido

Densidad Aparente	N° de Tanda	Peso unitario (kg/m ³)	Densidad Teórica (kg/m ³)	% de aire incorporado	Prom. % de aire incorporado
1200 kg/m ³	1	1244.98	2235.51	44.3088132	44.36
	2	1280.35	2245.89	42.9913817	
	3	1209.61	2230.33	45.7652795	
1400 kg/m ³	1	1421.83	2239.77	36.5191028	36.13
	2	1457.19	2226.12	34.5410445	
	3	1404.14	2240.43	37.3271342	
1600 kg/m ³	1	1605.74	2228.87	27.9570413	26.31
	2	1648.19	2223.64	25.8788984	
	3	1669.41	2229.11	25.1087766	

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación del porcentaje de aire incorporado de acuerdo a la norma ASTM D 6023 (método gravimétrico), se procedió, en primer lugar, al cálculo del peso unitario en estado fresco del Concreto Ligero y luego al cálculo de la densidad teórica (sin considerar vacíos). Se puede observar según los resultados obtenidos que la adición de poliestireno expandido reduce considerablemente la densidad del concreto, logrando la densidad deseada de acuerdo a la cantidad de poliestireno expandido incorporado. Mientras menor sea la densidad deseada mayor será el porcentaje de poliestireno expandido que se adiciona a la mezcla y por consiguiente mayor será el contenido de aire incorporado. La Tabla N° 33 muestra que para una densidad aparente de 1200 kg/m³ el contenido de aire es de 44.36%, para 1400 kg/m³ el contenido de aire es de 36.13% y para 1600 kg/m³, es de 26.31%.

4.3.2. PESO UNITARIO EN ESTADO ENDURECIDO

Se determinó el peso unitario de todos los especímenes de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido para cada densidad y dosificación, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

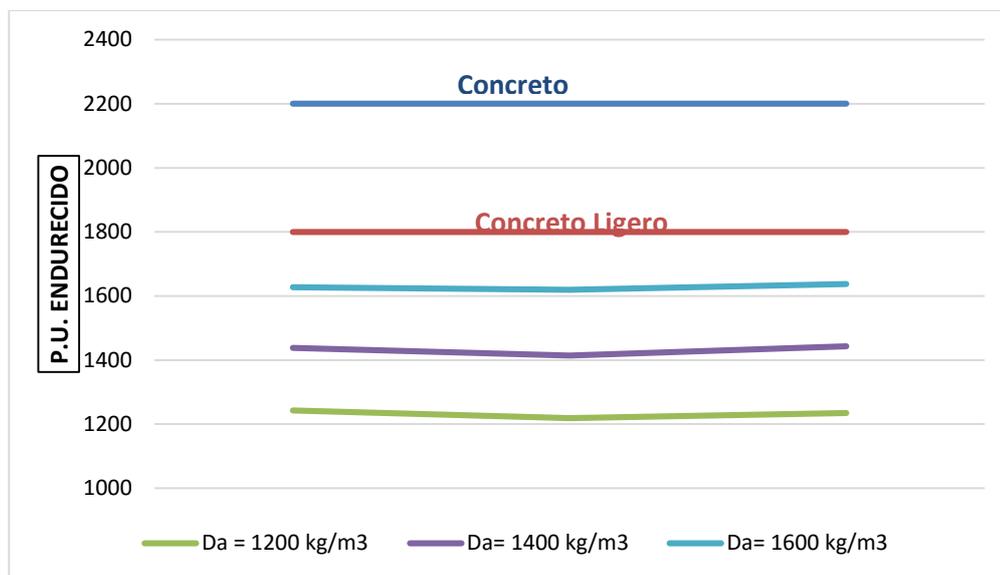
Tabla n° 35: Resultados de peso unitario en estado endurecido especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido

Densidad Aparente	P.U. (kg/m³)	PROMEDIO P.U. (kg/m³)
1200 kg/m ³	1242.47719	1232.12
	1219.18074	
	1234.71171	
1400 kg/m ³	1438.55562	1432.08
	1414.28849	
	1443.40905	
1600 kg/m ³	1627.83925	1628.23
	1619.10309	
	1637.74024	

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la Tabla N° 34 se muestra que el promedio del peso unitario del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido en estado endurecido para las diferentes densidades, obtenido a partir de la determinación del peso y medidas de los especímenes ensayados, el peso unitario promedio del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido en estado endurecido fue de 1232.12 kg/m³, 1432.08 kg/m³ y 1628.23 kg/m³, para las densidades de 1200kg/m³, 1400 kg/m³ y 1600 kg/m³ respectivamente, valores cercanos a las densidades de diseño.

Gráfico n° 4: Peso unitario en estado endurecido especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia (2016)

En el Gráfico N° 4 se muestra que la adición de poliestireno expandido disminuye notablemente la densidad del concreto, nótese la variación de la densidad con respecto al concreto convencional y concreto ligero.

4.4. ANÁLISIS DE ENSAYOS REALIZADO EN ESPECIMENES CÚBICOS

4.4.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN

Se determinó la resistencia a la compresión de 90 especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido a diferentes edades, para las densidades de 1200 [kg/m³], 1400 [kg/m³] y 1600 [kg/m³]. En la Tabla N° 38 se muestra el promedio de los esfuerzos a la compresión, obtenidas en cubos ensayados a edades de 7, 14 y 28 días. En la Imagen N° 14 se observa la curva que representa los 30 especímenes ensayados de densidad: 1200 [kg/cm³], de igual modo para densidades de 1400 [kg/cm³] y 1600 [kg/cm³].

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

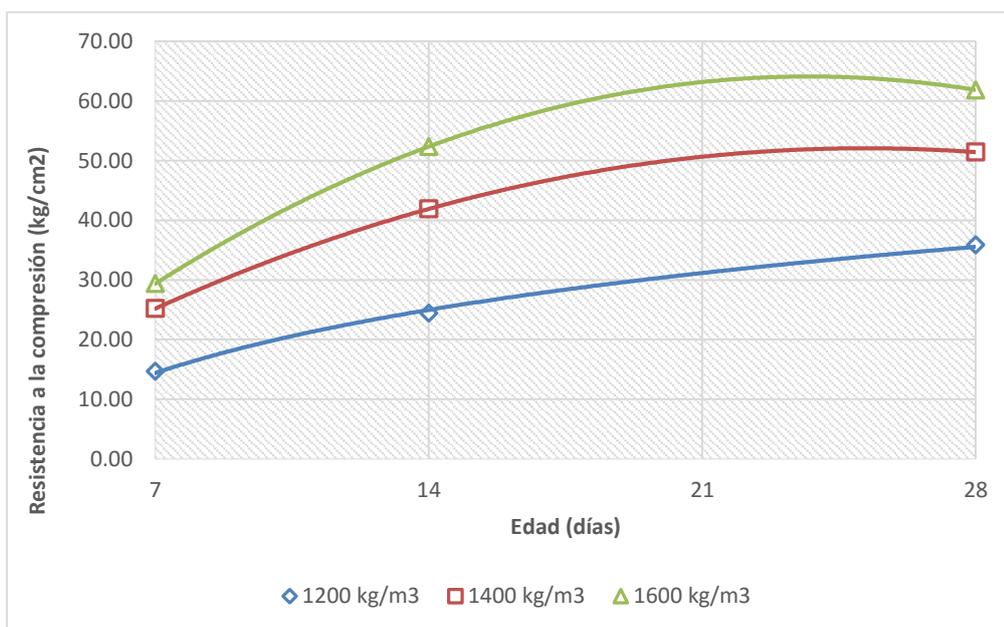
Tabla n° 36: Promedio de las resistencias a la compresión de los diferentes especímenes cúbicos y densidades

Densidad Aparente	Prom. Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
1200 kg/m³	20.30	24.89	35.84
1400 kg/m³	39.39	41.71	41.15
1600 kg/m³	58.65	60.77	61.75

Fuente: Elaboración propia (2016)

El esfuerzo a la compresión aumenta con el peso específico como se observa en el Gráfico N° 5, esta tendencia depende de la densidad y del tipo de dosificación, los pesos específicos oscilan en el rango de 1200 a 1600 [kg/m³].

Gráfico n° 5: Promedio de las resistencias a la compresión de las diferentes dosificaciones para la densidad aparente de 1200 [Kg/m³], 1400 [Kg/m³] y 1600 [Kg/m³]



Fuente: Elaboración propia (2016)

Figura n° 44: Ensayos de resistencia a la compresión de especímenes cúbicos con diferentes dosificaciones



Fuente: Elaboración propia (2016).

4.4.2. ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

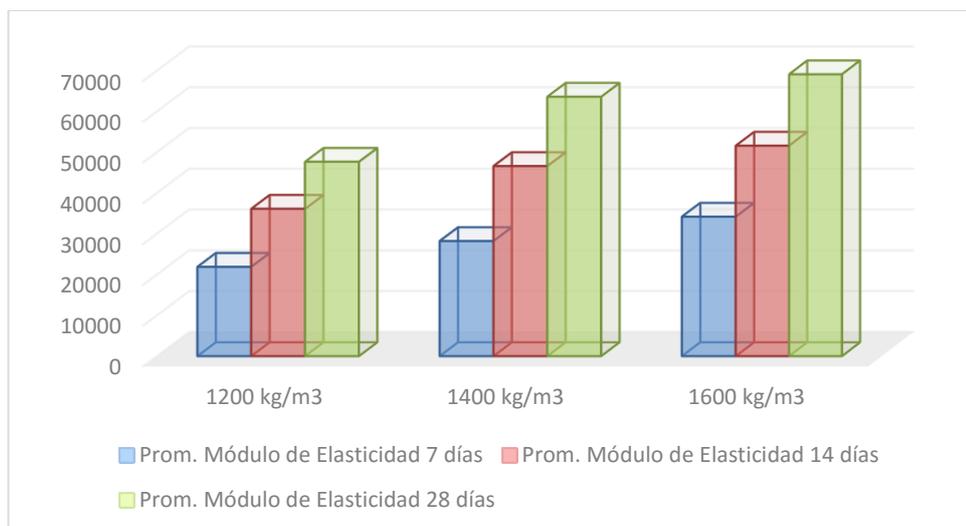
Se determinó el módulo de elasticidad del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido a través del método establecido por el ACI 318 para las diferentes densidades y edades del Concreto Ligero, los datos promedio se muestran en las siguientes tablas:

Tabla n° 37: Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Ligero, método ACI 318

Densidad Aparente	Prom. Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
1200 kg/m ³	21871	28181	34146.6
1400 kg/m ³	36072	46550.74	51568.74
1600 kg/m ³	47613	63575.03	69099.93

Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 6: Promedio de módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido, método ACI 318



Fuente: Elaboración propia (2016)

En la Tabla N° 33 y en el Gráfico N° 6 se puede observar la variación del módulo de elasticidad del concreto a diferentes edades y diferentes densidades, obtenido mediante lo descrito por el reglamento ACI 318, se observa que para mayor densidad del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido, el módulo de elasticidad aumenta.

4.4.3. ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

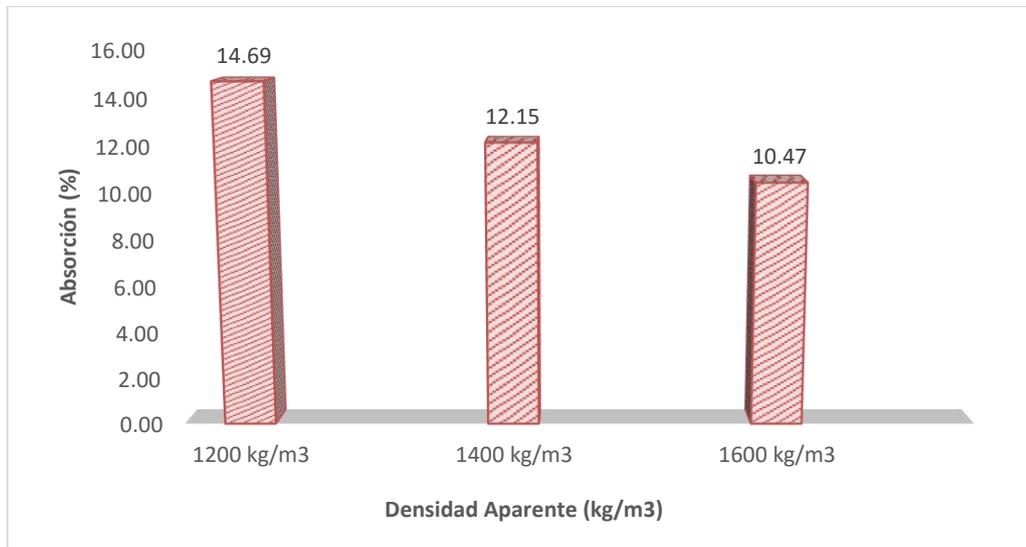
Se determinó el peso específico y el porcentaje de absorción de 36 especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido de acorde a la norma ASTM C 642, para las diferentes densidades y dosificaciones del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido, los datos promedio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla n° 38: Promedio de resultados del ensayo de densidad y absorción de especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido

Densidad Aparente	Absorción Promedio		Peso Específico promedio (kg/m³)
	%	kg/m³	
1200 kg/m³	14.69	177.14	1206.35
1400 kg/m³	12.15	177.67	1462.42
1600 kg/m³	10.47	169.42	1617.95

Fuente: Elaboración propia (2016)

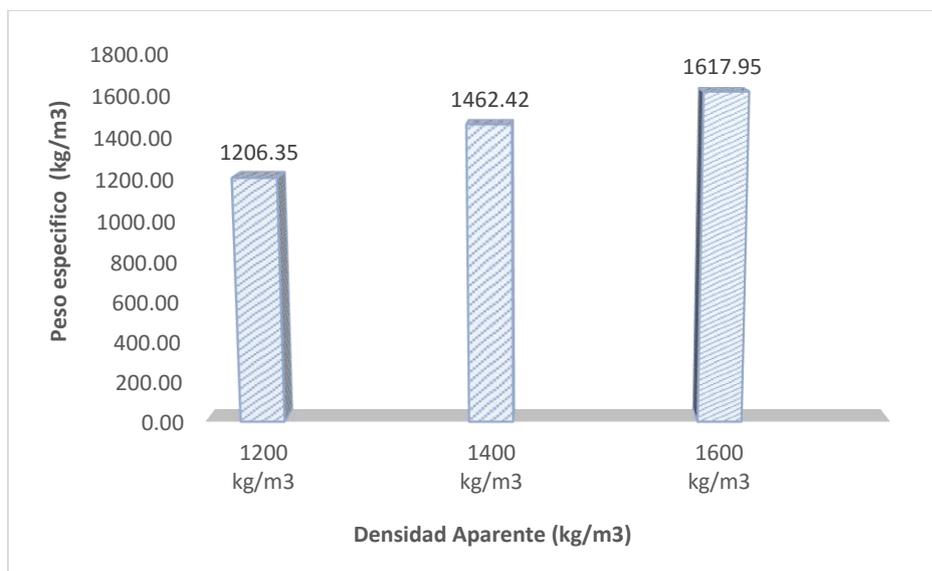
Gráfico n° 7: Promedio de resultados del ensayo de absorción de especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia (2016).

El gráfico N° 7 muestra los resultados del ensayo de absorción, como es notorio la absorción en el Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido es inversamente proporcional a su densidad, es decir que a menor densidad mayor será el porcentaje de absorción, debido principalmente a que el porcentaje de poros o vacíos es mayor en densidades menores, esto genera un mayor grado de saturación y por ende mayor absorción. Se observa también que independientemente de las dosificaciones el porcentaje de absorción es variado, no presentando una tendencia.

Gráfico n° 8: Promedio de resultados del ensayo de peso específico de especímenes cúbicos de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia (2016).

Al ser el peso específico del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido una de las principales variables estudiadas en esta investigación fue necesario determinar de acuerdo a la densidad de diseño o aparente, como variaba los pesos específicos finales del Concreto Ligero.

Los resultados se observan en el Gráfico N° 8, analizando el gráfico notamos que el peso específico es independiente del tipo de dosificación y no presenta una tendencia, se observa también que en su mayoría los pesos específicos están por encima de las densidades de diseño, esto se debe principalmente a que al momento del mezclado la cantidad y peso específico del poliestireno expandido utilizada influyó directamente en el peso específico final, ya que las variaciones de la cantidad de poliestireno suministrada hace variar notoriamente el peso específico final del Concreto Ligero.

4.5. ANÁLISIS DE ENSAYOS REALIZADOS EN BLOQUES DE CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

4.5.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

Se determinó la resistencia a la compresión simple de 45 bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido a diferentes edades, a través del método establecido por la NTP 399.604, los resultados obtenidos fueron contrastados con los

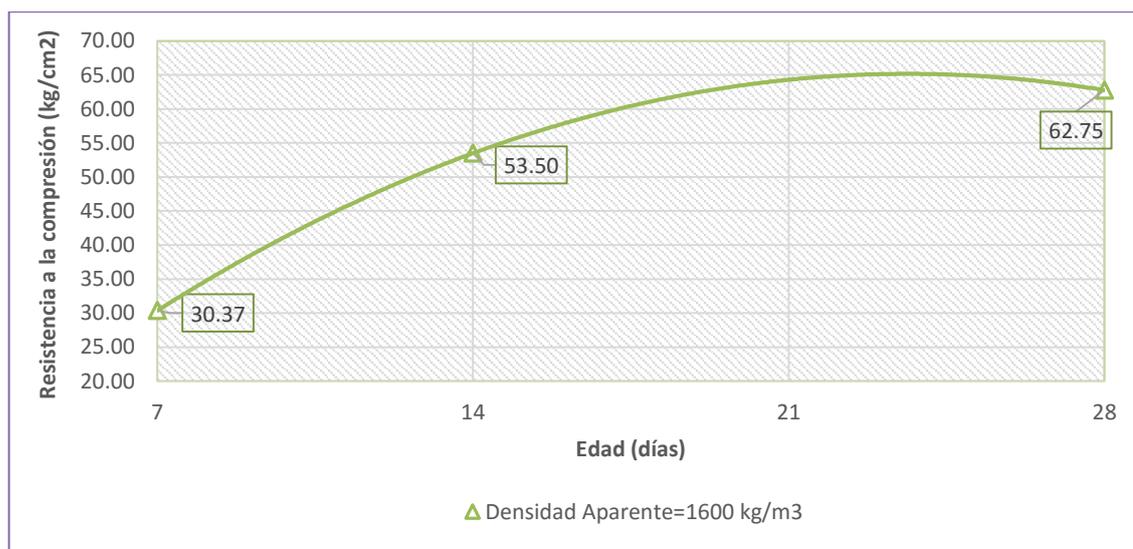
requisitos de resistencia a la compresión en bloques de concreto de acuerdo a la NTP 399.600 y la NTP 399.602.

Tabla n° 39: Promedio de resultados del ensayo de resistencia a la compresión en bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido (BCL)

Densidad Aparente	Prom. Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
1600 kg/m ³	30.37	53.50	62.75

Fuente: Elaboración propia

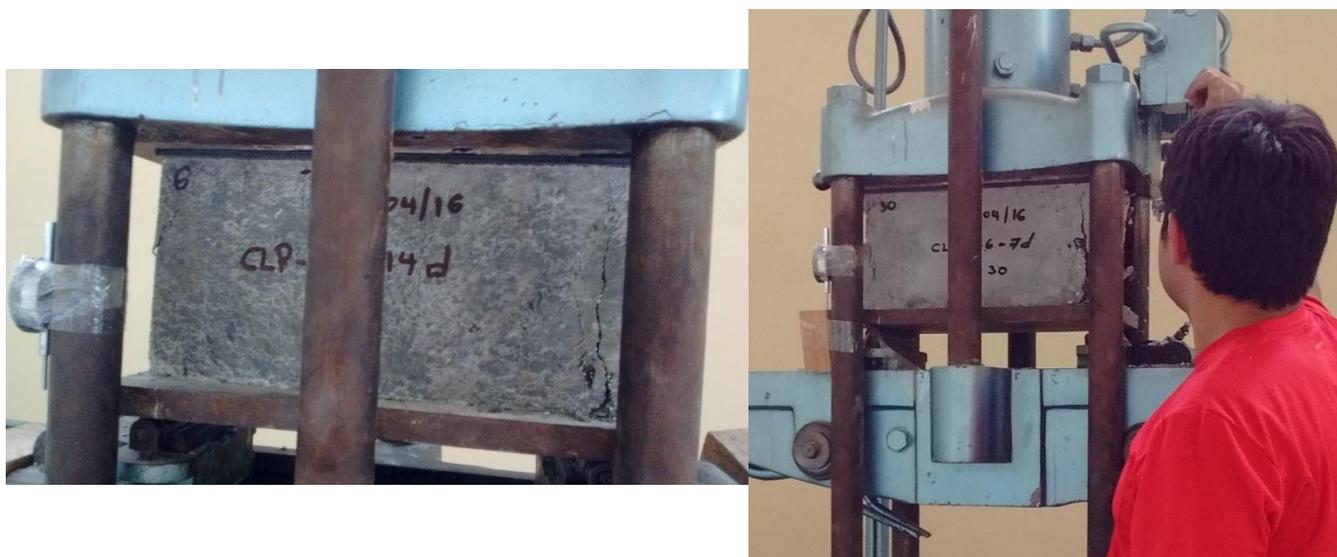
Gráfico n° 9: Promedio de resultados del ensayo de resistencia a la compresión en bloques de Concreto Ligero (BCL)



Fuente: Elaboración propia (2016).

Según la NTP 399.602 los bloques de concreto para uso estructural deben tener una resistencia a la compresión mínima a los 28 días de 6.00 MPa, analizando el Gráfico N° 09 observamos que los bloques de Concreto Ligero elaborados en este estudio alcanzan una resistencia a la compresión promedio a los 28 días de 6.15 MPa (62.75 kg/cm²), por lo que cumplen con los requisitos mínimos de resistencia a la compresión para unidades de albañilería de uso no estructural y de uso estructural.

Figura n° 45: Ensayo de resistencia a la compresión simple en boques de Concreto Liger a base de Poliestireno expandido a la edad de 28 días



Fuente: Elaboración propia

4.5.2. ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE BLOQUES

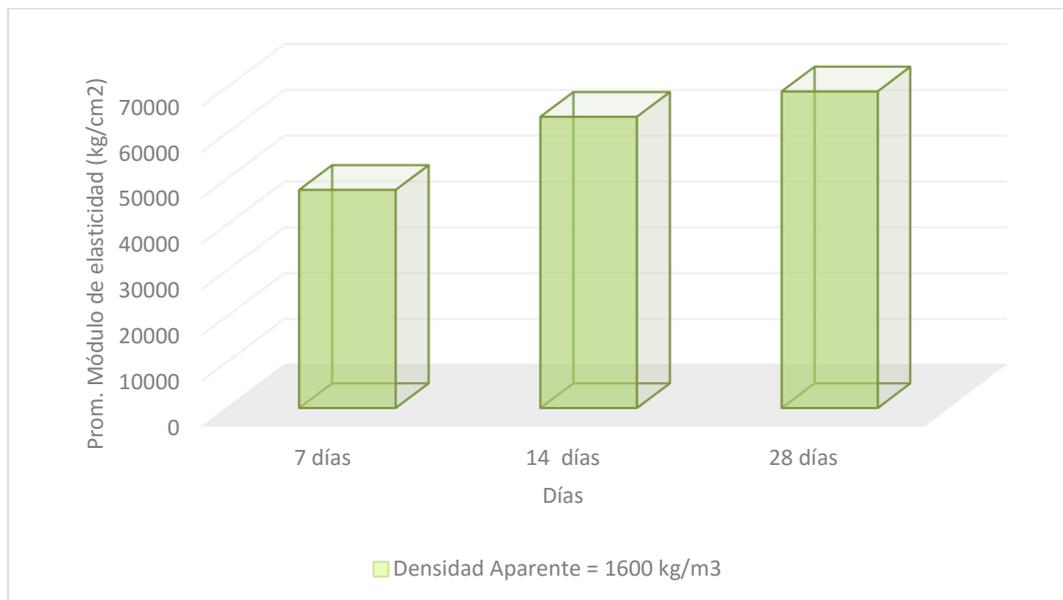
Se determinó el módulo de elasticidad del Concreto Liger a base de Poliestireno expandido a través del método establecido por el ACI 318 para las diferentes densidades y edades del Concreto Liger, los datos promedio se muestran en las siguientes tablas:

Tabla n° 40: Promedio de módulos de elasticidad de bloques de Concreto Liger, método ACI 318

Densidad Aparente	Prom. Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
1600 kg/m ³	48420.53	64264.80	69601.40

Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 10: Promedio de módulos de elasticidad de bloques de Concreto Ligerio a base de Poliestireno expandido, método ACI 318



Fuente: Elaboración propia (2016)

En la Tabla N° 39 y en el Gráfico N° 10 se puede observar la variación del módulo de elasticidad del concreto a diferentes edades de la densidad patrón, obtenido mediante lo descrito por el reglamento ACI 318, se observa que para mayor edad del Concreto Ligerio, el módulo de elasticidad aumenta.

4.5.3. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN POR FLEXION

Se determinó la resistencia a la tracción por flexión de 45 bloques de Concreto Ligerio a base de Poliestireno expandido a diferentes edades de acuerdo a la NTP 339.079. Los resultados promedio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla n° 41: Promedio de resultados del ensayo de resistencia a tracción por flexión en bloques de Concreto Ligerio a base de Poliestireno expandido (BCL)

Densidad Aparente	Prom. Resistencia a la Flexión (kg/cm ²)		
	7 días	14 días	28 días
1600 kg/m ³	24.14	30.82	32.03

Fuente: Elaboración propia

Gráfico n° 11: Ensayo de resistencia a la compresión simple en boques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido a la edad de 28 días



Fuente: Elaboración propia

Los valores expuestos en el Grafico N° 10 son el promedio de los bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido ensayadas a flexión a la edad de 7,14 y 28 días, estos resultados corresponden a la dosificación óptima para una densidad aparente de 1600 kg/m³. De los ensayos realizados a flexión, se observa que el esfuerzo a tensión es aproximadamente un 51.04% del esfuerzo a compresión, esto se debe a la ligereza del concreto Ligero, es decir al ser un material de bajo peso específico y por poseer muchas cavidades en su configuración se produce grandes deformaciones.

Figura n° 46: Ensayo de resistencia a la tracción por flexión- bloque CLP-07 a la edad de 07 días



Fuente: Elaboración propia (2016)

4.5.4. ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Se determinó el peso específico y la absorción de 10 bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido de acuerdo a la NTP 399.604. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla n° 42: Resultados del ensayo de peso específico y absorción en bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido (BCL)

Densidad Aparente	Codigo de Especimen	Ws	Wi	Wd	Absorción (%)		Peso Especifico (kg/m3)	Prom. Peso Especifico (kg/m3)
					%	Kg/m3		
1600 kg/m3	BCL 1600-1	12.075	5.195	11.22	7.62	124.27	1630.81	1624.36
	BCL 1600-2	12.076	5.192	11.26	7.25	118.54	1635.68	
	BCL 1600-3	12.083	5.188	11.12	8.66	139.67	1612.76	
	BCL 1600-4	12.082	5.191	11.11	8.75	141.05	1612.25	
	BCL 1600-5	12.086	5.189	11.17	8.20	132.81	1619.54	
	BCL 1600-6	12.081	5.15	11.26	7.29	118.45	1624.59	
	BCL 1600-7	12.056	5.163	11.26	7.07	115.48	1633.54	
	BCL 1600-8	12.076	5.132	11.24	7.44	120.39	1618.66	
	BCL 1600-9	12.056	5.198	11.33	6.41	105.86	1652.09	
	BCL 1600-10	12.036	5.108	11.11	8.33	133.66	1603.64	

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la Tabla N° 41 se muestran los resultados del ensayo de peso específico y absorción de los bloques de Concreto Ligero, se observa que el porcentaje de absorción promedio es de 7.70%, resultado que es menor al 12% que indica la NTP 399.602 para bloques de concreto, observamos también que el peso específico promedio de los bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido es de 1624.36 kg/m3.

4.6. ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO

Con el objetivo de determinar la factibilidad de producción de los bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido y su posible implementación dentro de la construcción se realizó una estimación de costos de producción de los mismos, para posteriormente realizar una comparación técnica y económica con los bloques de concreto convencional y ladrillos artesanales de arcilla cocida.

En la Tabla N° 42 se detalla la cantidad y el costo real de los materiales que contiene el bloque de Concreto Ligero, los costos de producción pertenecen a la ciudad de Cajamarca, Perú.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Tabla n° 43: Costos de fabricación del bloque de Concreto Ligerio a base de Poliestireno expandido

BLOQUE DE CONCRETO LIGERO 09X19X39 cm				
Peso aprox. Bloque	11.22	Kg		
Peso Específico	1624.36	kg/m3		
Materiales	Unid	Cantidad	P.U	Parcial (S/.)
Cemento	bls/bloque	0.045	22.500	1.005
Arena	m3/bloque	0.007	40.000	0.286
Agua	m3/bloque	0.001	5.000	0.004
Poliestireno expandido	kg/bloque	0.188	8.000	1.507
Mano de Obra				
Operario	hh/bloque	0.025	10.13	0.25325
Peón	hh/bloque	0.025	8.25	0.20625
Herramientas manuales 3%	%MO	3	0.46	0.013785
COSTO TOTAL POR BLOQUE (S/.)				3.28

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 44: Costos de fabricación del bloque de Concreto Tradicional

BLOQUE DE CONCRETO TRADICIONAL 09X19X39 cm				
Peso Específico	2300	kg/m3		
Materiales	Unid	Cantidad	P.U	Parcial (S/.)
Cemento	bls/bloque	0.045	22.500	1.005
Arena	m3/bloque	0.008	40.000	0.320
Agua	m3/bloque	0.001	5.000	0.004
Poliestireno expandido	m3/bloque	0.005	50.000	0.243
Mano de Obra				
Operario	hh/bloque	0.04	10.13	0.4052
Peón	hh/bloque	0.04	8.25	0.33
Herramientas manuales 3%	%MO	3	0.74	0.022056
COSTO TOTAL POR BLOQUE (S/.)				2.33

Fuente: Elaboración propia (2016)

El costo de elaboración del bloque de Concreto Ligerio a base de Poliestireno expandido es más alto en S/.0.95 en comparación al bloque de concreto normal comercializado en la ciudad de Cajamarca, esto se debe al costo del poliestireno en el mercado local, en otros países como Chile se utiliza el poliestireno que queda de residuo en obras de construcción civil, disminuyendo notablemente el costo del bloque de concreto ligero. Cabe mencionar que el incremento del precio por unidad se ve

contrarrestado por las mejoras en las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de Concreto Ligero y reducción del peso de los muros de albañilería.

En la siguiente tabla damos a conocer el costo por metro cuadrado de muro de 09 cm de espesor elaborado con unidades de concreto liviano.

Tabla n° 45: Costos de fabricación de muro de 09 cm de espesor con bloques de Concreto Liviano

COSTO POR METRO CUADRADO DE MURO DE 09 CM DE ESPESOR				
Materiales	Unid	Cantidad	P.U	Parcial (S/.)
Bloque de Concreto Ligero 09x19x39 cm	und/m2	13.00	3.28	42.59
Mortero 1.5 cm	m3/m2	0.01	4.40	0.04
Mano de Obra				
Operario	hh/bloque	0.94	10.13	9.53
Peón	hh/bloque	0.47	8.25	3.88
Herramientas y Equipos				
Herramientas manuales 3%	%MO	3.00	13.42	0.40
Andamio de Madera	p2	0.40	2.6	1.04
COSTO TOTAL POR M2 (S/.)				56.45

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 46: Costos de fabricación de muro de 09 cm de espesor con bloques de Concreto Tradicional

COSTO POR METRO CUADRADO DE MURO DE 09 CM DE ESPESOR				
Materiales	Unid	Cantidad	P.U	Parcial (S/.)
Bloque de Concreto Convencional 09x19x39 cm	und/m2	13.00	2.33	30.29
Mortero 1.5 cm	m3/m2	0.05	4.40	0.22
Mano de Obra				
Operario	hh/bloque	2.00	10.13	20.26
Peón	hh/bloque	0.50	8.25	4.13
Herramientas y Equipos				
Herramientas manuales 3%	%MO	3.00	24.39	0.73
Andamio de Madera	p2	0.40	2.6	1.04
COSTO TOTAL POR M2 (S/.)				55.63

Fuente: Elaboración propia (2016)

Como se puede observar el costo por metro cuadrado de muro de elaborado con unidades de albañilería de concreto liviano es mayor en S/0.82 ha elaborarlo de concreto

convencional, esto se puede justificar debido al menor costo que generará si se hiciera con albañilería ligera y menores secciones de columnas, vigas y/o pórticos.

4.7.CONTRASTE DE LA HIPOTESIS

Se verificó que los bloques de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido tiene diversas propiedades ventajosas y cumplen a cabalidad los requisitos físicos y mecánicos establecidos en la normativa peruana referente a bloques de concreto, se logró diseñar y elaborar bloques de Concreto Ligero con un peso específico de 1624.36 kg/m³, con una resistencia a la compresión de 62.75 kg/cm² mayor a 6.00 Mpa resistencia mínima estipulada en la norma NTP 399.600 y NTP 399.602 por lo que puede ser usado tanto como unidad de albañilería no estructural y estructural, puesto que cumplen los requisitos de resistencia. En cuanto a los requisitos de absorción la NTP 399.602 establece como valor máximo 12% y de acuerdo a los resultados de absorción de los bloques ensayados se obtuvo un porcentaje de absorción de 7.70%.

Por consiguiente, la propiedades físico – mecánicas del concreto ligero a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural cumplen con las normas peruanas vigentes, por lo que se confirma la hipótesis planteada en esta investigación.

CAPÍTULO V



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos de todas las dosificaciones estudiadas para cada densidad del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido, se concluye que la dosificación óptima para lograr las características deseadas del bloque de concreto, fue la denominada CLP-1600 para la densidad aparente de 1600 [kg/m³], con una resistencia a la compresión promedio de 62.75 kg/cm² y un porcentaje de absorción de 7.70.
- ✓ Al llevar al horno el poliestireno expandido se obtuvo una densidad de: 154.17 kg/m³, gracias a ello se logró un mezclado homogéneo en la mezcla y se evitó la suspensión del poliestireno en el agua debido a su baja densidad.
- ✓ Al medir la fluidez del Concreto Ligero su diámetro de dispersión varía en un rango de 20 a 23 [cm] dependiendo de la densidad aparente que se desee diseñar, la misma que disminuye conforme aumenta la densidad aparente, dando ventajas de trabajabilidad y colocación en obra.
- ✓ Al término de la investigación se logró obtener un bloque de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con una resistencia a la compresión a los 28 días de 62.75 kg/cm² (6.15 MPa), resistencia superior a la resistencia mínima establecida en la NTP 399.600 y NTP 399.602.
- ✓ Se obtuvo un bloque cuyo peso específico fue de 1624.36 [kg/m³] y con un grado de absorción de 9.25%, resultados que están acorde a los requerimientos de la NTP 399.602 (Valor permisible 12 %).
- ✓ El bloque obtenido desarrolló una resistencia a la flexión estática a los 28 días de edad, de 32.03 kg/cm² (3.14 MPa).
- ✓ La resistencia a la compresión en bloques de Concreto Ligero es del orden del 1.39% mayor que la resistencia a la compresión en especímenes cúbicos de este tipo de Concreto Ligero para la dosificación óptima de diseño.
- ✓ El contenido de aire incorporado con la espuma fue de 44.36%, 36.13 y 26.31% para las densidades de 1200 [kg/m³], 1400 [kg/m³] y 1600 [kg/m³] respectivamente.
- ✓ El módulo de elasticidad del Concreto Ligero es menor que del concreto convencional, esto se debe a que tienen mayor capacidad de deformación volviéndose

más dúctil con la inclusión del aditivo espumante. Los módulos de elasticidad son mayores conforme tiende a incrementar el peso específico. Se calcularon los módulos de elasticidad de acuerdo al ACI 318.

- ✓ Las dimensiones asumidas en el diseño del bloque fueron las siguientes: 09x19x39 con un peso aproximado de 11.22 kg, dimensiones acordes a la norma NTP 399.602-2002.
- ✓ El costo del concreto ligero a base de poliestireno expandido es mayor en S/. 0.95 con respecto a un bloque de iguales dimensiones de concreto tradicional.

5.2.RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda que al momento de mezclado de los componentes se agregue un porcentaje mayor de poliestireno expandido ya que pequeños incrementos de ésta influyen en gran medida en la densidad y resistencia final del Concreto Ligero.
- ✓ El Concreto ligero no necesita vibrado como el concreto de peso normal, sin embargo, se recomienda golpear con un martillo de goma el molde para homogenizar la mezcla.
- ✓ Se recomienda usar agregado fino de río lavado y redondeado para el mejor acomodo de partículas entre el agregado fino y el poliestireno expandido.
- ✓ Se recomienda fabricar los bloques y almacenarlos, cerca del lugar donde se realizarán los ensayos correspondientes para evitar la manipulación innecesaria que provoque diversas alteraciones en los resultados.
- ✓ Debido a la excelente terminación que presentan los bloques fabricados, es posible e inclusive recomendable, dejarlos a la vista, con el consiguiente ahorro en materiales y mano de obra correspondientes a las tareas de revoque y terminación.
- ✓ Se recomienda investigar la variación en la resistencia del Concreto Ligero tanto a compresión como a tracción según su contenido de humedad, se prevee que los niveles de resistencia disminuyan al aumentar la humedad contenida en los bloques, especialmente la resistencia a tracción.
- ✓ Se recomienda realizar una investigación netamente de Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido con aditivos.
- ✓ Se recomienda hacer ensayos que impliquen demostrar las ventajas del Concreto Ligero a base de Poliestireno expandido como son: aislante térmico, aislante acústico, resistente al fuego entre otros.

CAPÍTULO VI



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1.TESIS

León, J. G. (2013). Diseño, fabricación y ensayo de una losa unidireccional de hormigón liviano con poliestireno expandido reciclado modificado para fines habitacionales, Trabajo de Grado para optar el Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Valdivia, Chile.

Zamora, L. P. (2015). Diseño de un bloque de concreto celular y su aplicación como unidad de albañilería no estructural. Trabajo Especial de Grado para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería Civil. Cajamarca, Perú

Quezada, P. E. (2010). Estudio técnico y económico para la elaboración de bloques de hormigón liviano en base a poliestireno expandido. Memoria para optar al título de Ingeniero en Construcción. Universidad de Talca, Facultad de ingeniería

Escuela de Ingeniería en Construcción. Curicó, Chile.

Ninasquiche, Y. N. (2010). "Uso del Concreto Celular en unidades de albañilería no estructural", Tesis de Título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Peru.

6.2.LIBROS Y PUBLICACIONES

Abanto Castillo, F. (s.f.). *Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas)*. Lima: San Marcos.

American Concrete Institute. (1980). *Manual of Concrete Practice, Part 1*. WASHINGTON, D.C.: Redford Station.

Aragón Masís, S. (2006). *Manual de elaboración de concreto en obra*. San José, Costa Rica: ICCYC.

Aragón Masís, S., & Solano Jiménez, J. (2006). *Manual de consejos prácticos sobre el concreto*. San José, Costa Rica: ICCYC.

CENTRUM-Centro de Negocios. (26 de Mayo de 2010). Reporte Financiero Burkenroad Perú. *Sector Cementero del Perú*. Lima, Perú: Paper.

Cerruto Anibarro, F., & Vargas Roca, S. A. (2011). *Corrección por esponjamiento de la arena en las dosificaciones volumétricas*. La Paz, Bolivia: UMSA.

- Chema. (19 de Noviembre de 2014). *Aditivos y productos para la construcción*. Obtenido de Chema. Calidad que construye: <http://www.chema.com.pe/>
- Department of Defense. (s.f.). American Society for Testing and Materials (ASTM). United States.
- Dicovski Riobóo, L. M. (2012). *Estadística Básica para Ingenieros*. Estelí, Nicaragua: UNI Norte.
- DINO. (2010). *Agregados para Concreto; Gestión de Calidad y Mejora Continua*. Lima.
- Giraldo Bolívar, O. (1991). *Control de calidad y uso de aditivos químicos en el hormigón*. Colombia: UNAL-Medellín.
- Gonzáles de la Cotera, M. (Setiembre de 1993). Mantenimiento de pavimentos de concreto. *El concreto fast track en reparación y rehabilitación de pavimentos*. Lima, Perú: Paper.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). *Metodología de la Investigación*. Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- INDECOPI. (s.f.). Norma Técnica Peruana (NTP). Lima, Perú.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (1999). *Manual para supervisar obras de concreto ACI311*. México: IMCYC.
- Jiménez, P., García, Á., & Morán, F. (2000). *Hormigón Armado*. Barcelona: Gustavo Gili, SA.
- Juan Guillermo León. (2013). *Diseño, fabricación y ensayo de una losa unidireccional de hormigón liviano con poliestireno expandido reciclado modificado para fines habitacionales*. Valdivia.
- Kan y Dermiboga. (2009). *Recycled Aggregate in Concrete: Use of Industrial, Construction and Demolition Waste*. Springer.
- Laura Huanca, S. (Marzo de 2006). Diseño de mezclas de concreto. Puno, Perú: Paper.
- Lezama Leiva, J. L. (1996). *Tecnología del Concreto*. Cajamarca: UNC.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2011). *Normas para Materiales y Ensayos de Materiales*. Paraguay.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technology*. England: Pearson.

- ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN - ONNCCE. (2004). *INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONCRETO (NMX-C-155)*. México, D.F.: MÉXICO MMV.
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*. Lima: CIP.
- Portland Cement Association. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Estados Unidos: PCA.
- Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño*. Arequipa.
- Primi, A., & León, O. (2012). *Resistencia a compresión a los 28 días de cilindros de concreto húmedos y secos para un $f'c$ 250kg/cm²*. Obtenido de <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2301-12-05298.pdf>
- Quiroz Crespo, M. V., & Salamanca Osuna, L. E. (2006). *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje en la Asignatura de "Tecnología del Hormigón"*. Cochabamba, Bolivia: UMSS.
- Rey Carrillo, G. A. (s.f.). *Diseño de Mezclas*. PROPISOS S.A.
- Rivera López, G. A. (s.f.). *Concreto Simple*. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.
- Rivva López, E. (1992). *Tecnología del Concreto. Diseño de Mezclas*. Lima: UNI.
- Rivva López, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima: ICG.
- Rivva López, E. (2002). *Concretos de Alta Resistencia*. Lima: ICG.
- Rivva López, E. (2004). *Control del Concreto en Obra*. Lima: ICG.
- Rodríguez Ríos, J. A. (Mayo de 2013). Diplomado en Residencia, Supervisión y Seguridad en Obras. *Tecnología del Concreto*. Ancash, Chimbote, Perú: Kaizen.
- Romo Proaño, M. (s.f.). *Temas de Hormigón Armado*. Ecuador.
- Sánchez de Guzmán, D. (1997). *Tecnología y Propiedades*. Colombia: Asocreto.
- Sánchez Sabogal, F. (2005). *Glosario de Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá, Colombia: Universidad del Cauca.
- Santiago Patricio, E. (2011). *Diferentes tipos de aditivos para el concreto*. Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30367/1/SantiagoPatricio.pdf>
- Segnini, S. (2008). *Fundamentos de Bioestadística*. Mérida, Venezuela: Univ. de Los Andes.
- The Chemical Company. (2009). *Hormigón de altas resistencias iniciales*. BASF.

Universidad Nacional de Colombia. (s.f.). *Explotación subterránea de canteras, una alternativa económica y ambiental en zonas urbanas*. Recuperado el 16 de Marzo de 2014, de <http://www.angelfire.com/mi/cantera4/>

Videla, C. (s.f.). *Tecnología del Hormigón. Dosificación de Hormigones*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

Zabaleta G., H. (1988). *Compendio de Tecnología del Hormigón*. Santiago: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.

6.3.NORMAS NTP

NTP 334.009.2013. CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos. 5ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

NTP 334.051.2006. CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lad. 4ª. Ed. R.2006/CRT-INDECOPI.

NTP 339.079.2012 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. 3ª. Ed. R. 2012-CRT-INDECOPI.

NTP 339.088.2006 HORMIGÓN (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. 2ª. Ed. R. 2006-CRT-INDECOPI.

NTP 339.185.2013. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable del agregado por secado. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

NTP 399.600.2010. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Bloques de concreto para uso no estructural. Requisitos. 2ª. Ed. R.05-2010/CNB-INDECOPI.

NTP 399.602.2002. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos. 1ª. Ed. R.2002/CRT-INDECOPI.

NTP 399.604.2002. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de muestro y ensayo de unidades de albañileria de concreto. 1ª. Ed. R.2002/CRT-INDECOPI.

NTP 399.605.2013. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de ensayo para la determinacion de la resistencia en compresion de prismas de albañileria. 2ª. Ed. R.2013/CRT-INDECOPI.

- NTP 399.610.2013. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Especificaciones normalizadas para morteros. 2ª. Ed. R.2013/CRT-INDECOPI.
- NTP 399.621.2004. UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Metodo de ensayo de compresion diagonal en muretes de albañileria. 1ª. Ed. R.2004/CRT-INDECOPI.
- NTP 400.010.2011 AGREGADOS. Extracción y preparación de muestras. 3ª. Ed. R. 2011-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.011.2008 (revisada el 2013) AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.012.2013 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.017.2011 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso unitario”) y los vacíos en los agregados. 3ª. Ed. R. 2011-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.018.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ (N° 200). 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.022.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.037.2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). 2ª. Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI.

6.4.NORMAS Y REGLAMENTOS INTERNACIONALES

- ACI 523.1R. (2006). Guide for Cast-in-Place Low-Density Cellular. Detroit.USA.
- ACI 523.2R. (1996). Guide for Precast Cellular Concrete Floor, Roof, and Wall Units. American Concrete Institute. Detroit, USA.
- ACI 523.3R. (2014). Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft³ (800 kg/m³), American Concrete Institute. Detroit, USA.
- ACI 213R. (2014). Guide for structural lightweight aggregate concrete, American Concrete Institute. Detroit, USA.
- American Concrete Institute. Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-11)

ASTM C 469. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.

ASTM C 642 (2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.

ASTM C 796 (2012). Standard Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam.

ASTM D 6023 (2007). Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, Cement Content, and Air Content (Gravimetric) of Controlled Low-Strength Material (CLSM).

ASTM D 6103 (2004). Standard Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material (CLSM).

AS1012.8, 2000, Methods of testing concrete - Method of making and curing concrete - Compression and indirect tensile test specimens", Standards Association of Australia, New South Wales, Australia.

AS1012.9, 1999, "Methods for testing concrete – Determination of the compressive strength of concrete specimens", Standards Association of Australia, New South Wales, Australia.

CAPÍTULO VII



ANEXOS

CAPÍTULO VII. ANEXOS

7.1.ANEXO I: PROPIEDAD FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA ARENA

Tabla n° 47: Ensayos de partículas menores al tamiz N° 200 – Arena A

ARENA "A"					
ENSAYO DE PARTICULAS MENORES AL TAMIZ N° 200 - AGREGADO FINO					
ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso seco de la muestra original	gr	350.00	350.00	350.00	350.00
Peso seco de la muestra lavada	gr	333.60	332.50	334.30	333.47
Peso del material que pasa el tamiz N° 200	gr	16.40	17.50	15.70	16.53
% de material que pasa el tamiz N° 200	%	4.69	5.00	4.49	4.72

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 48: Ensayos de partículas menores al tamiz N° 200 – Arena B

ARENA "B"					
% de material que pasa el tamiz N° 200					
ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso seco de la muestra original	gr	350.00	350.00	350.00	350.00
Peso seco de la muestra lavada	gr	333.40	333.40	334.30	333.70
Peso del material que pasa el tamiz N° 200	gr	16.60	16.60	15.70	16.30
% de material que pasa el tamiz N° 200	%	4.74	4.74	4.49	4.66

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 49: Ensayos de partículas menores al tamiz N° 200 – Arena C

ARENA "C"					
% de material que pasa el tamiz N° 200					
ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso seco de la muestra original	gr	350.00	350.00	350.00	350.00
Peso seco de la muestra lavada	gr	332.70	334.70	334.60	334.00
Peso del material que pasa el tamiz N° 200	gr	17.30	15.30	15.40	16.00
% de material que pasa el tamiz N° 200	%	4.94	4.37	4.40	4.57

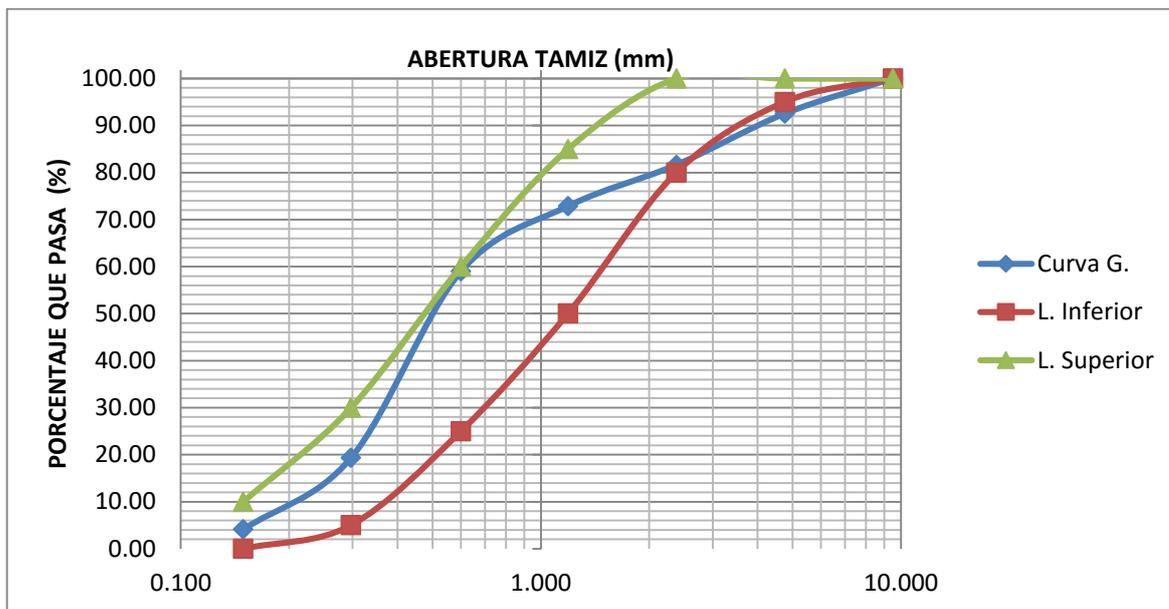
Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 50: Promedio de ensayos de granulometría de la arena "A" (para densidad de 1200 kg/m³)

ARENA A					
MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
NOMENCLATURA					
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	112.40	7.49	7.49	92.51
N° 08	2.380	163.30	10.89	18.38	81.62
N° 16	1.190	131.60	8.77	27.15	72.85
N° 30	0.600	207.80	13.85	41.01	58.99
N° 50	0.297	594.80	39.65	80.66	19.34
N° 100	0.149	228.60	15.24	95.90	4.10
N°200	0.074	44.20	2.95	98.85	1.15
< N° 200	0.074	17.30	1.15	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00	MF	2.706

Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 12: Resultados de la curva granulométría de la arena A



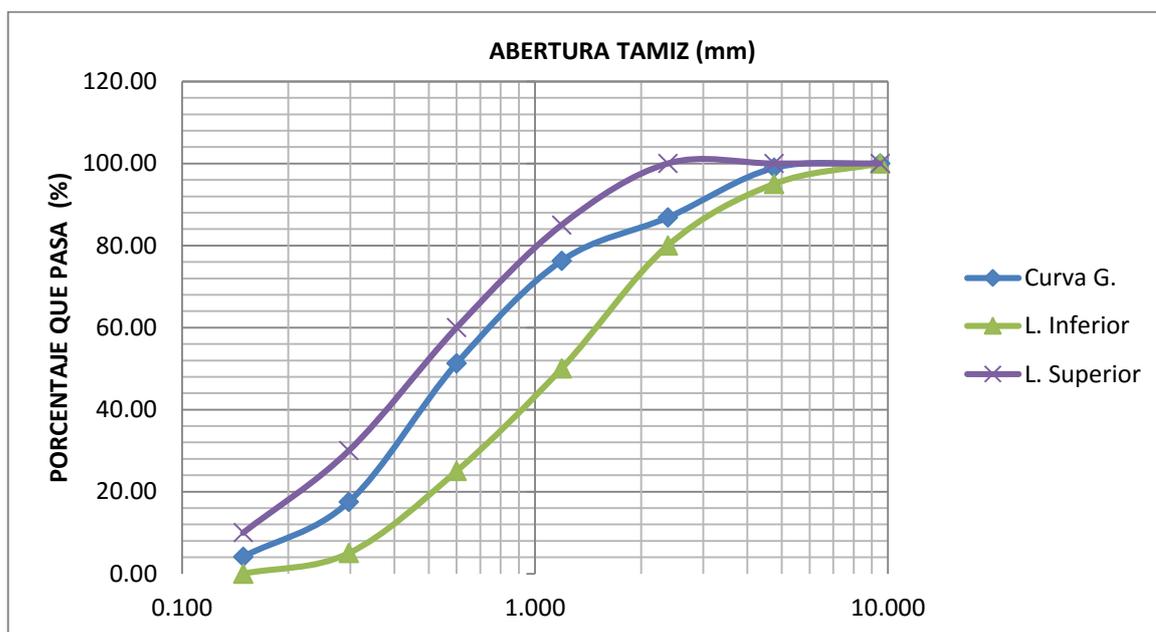
Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 51: Promedio de ensayos de granulometría de la arena “B” (para densidad de 1400 kg/m3)

ARENA B					
ENSAYO N° 02					
MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
NOMENCLATURA					
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	15.80	1.05	1.05	98.95
N° 08	2.380	181.20	12.08	13.13	86.87
N° 16	1.190	158.70	10.58	23.71	76.29
N° 30	0.600	375.60	25.04	48.75	51.25
N° 50	0.297	506.50	33.77	82.52	17.48
N° 100	0.149	200.80	13.39	95.91	4.09
N°200	0.074	46.60	3.11	99.01	0.99
< N° 200	0.074	14.80	0.99	100.00	0.00
TOTAL		1500.00	100.00	MF	2.651

Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 13: Resultados de la curva granulométría de la arena B



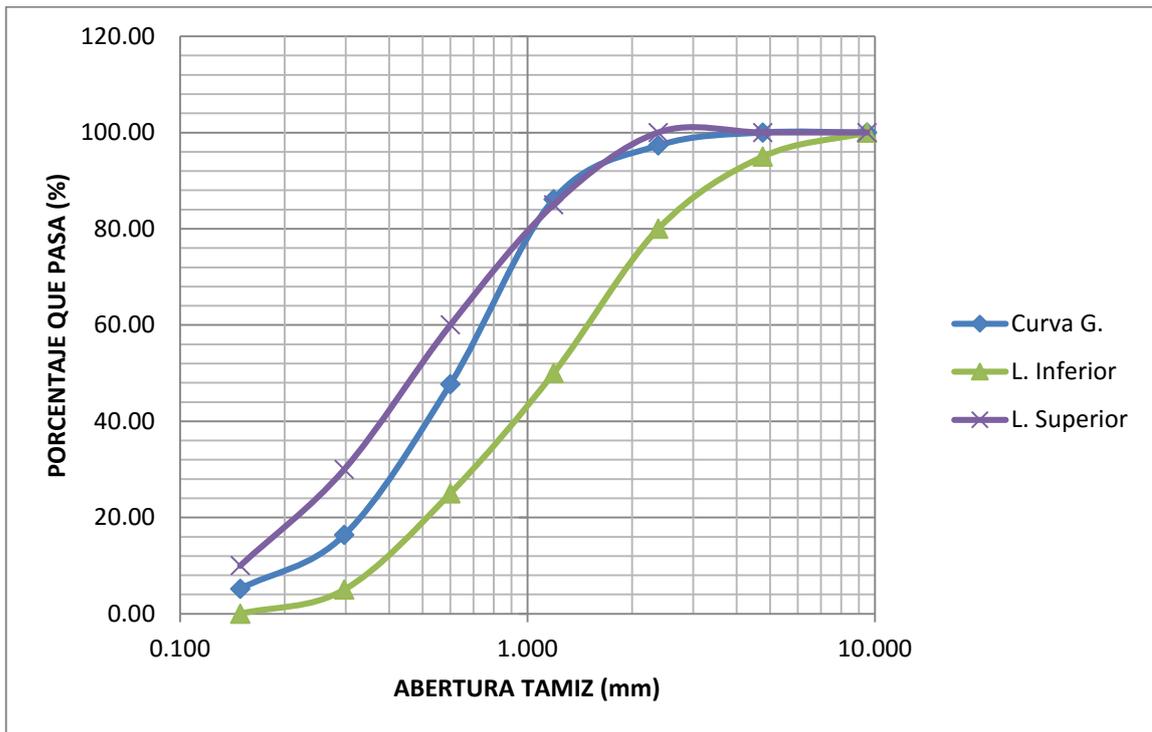
Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 52: Promedio de ensayos de granulometría de la arena “C” (para densidad de 1600 kg/m³)

ARENA C					
ENSAYO N° 03					
MALLA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
NOMENCLATURA					
3/8	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 08	2.380	55.40	2.70	2.70	97.30
N° 16	1.190	229.50	11.20	13.90	86.10
N° 30	0.600	787.00	38.39	52.29	47.71
N° 50	0.297	643.00	31.37	83.65	16.35
N° 100	0.149	229.00	11.17	94.82	5.18
N° 200	0.074	89.00	4.34	99.17	0.83
< N° 200	0.074	17.10	0.83	100.00	0.00
TOTAL		2050.00	100.00	MF	2.474

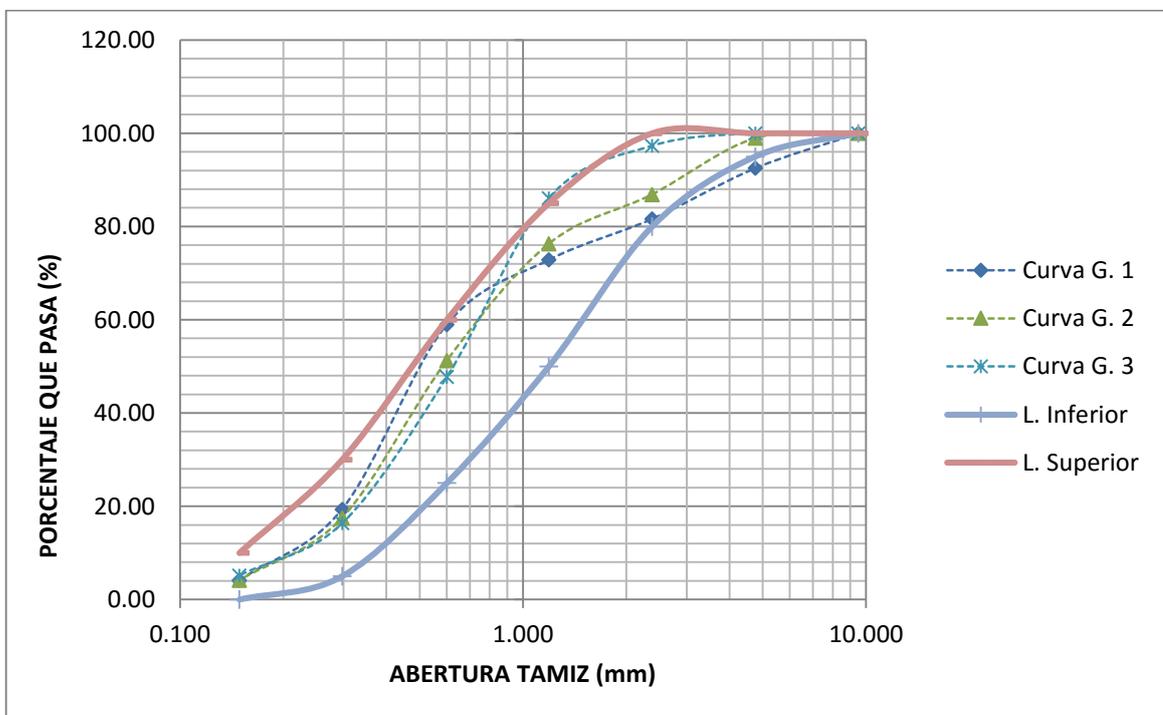
Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 14: Resultados de la curva granulométría de la arena C



Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 15: Curvas de los promedios de las arenas A, B y C



Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 53: Densidad relativa de la arena A

ARENA A						
DENSIDAD RELATIVA DEL AGREGADO FINO						
ITEM	UNIDAD	FORMULA	1°	2°	3°	PROMEDIO
Masa de la muestra de saturado con superficialmente seca (S)	gr	-----	500.00	500.00	500.00	-----
Masa del Picnometro lleno de la muestra y el agua (C)	gr	-----	1006.20	1006.60	1007.40	-----
Masa del picnometro llenado de agua (B)	gr	-----	697.90	698.10	698.20	-----
Masa de la Muestra seca al horno (A)	gr	-----	493.00	493.90	493.80	-----
PESO ESPECIFICO DE MASA SECA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SS)	gr/cm ³	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2.572	2.579	2.588	2.580
PESO ESPECIFICO DE MASA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SSS)	gr/cm ³	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2.608	2.611	2.621	2.613
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	gr/cm ³	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2.669	2.664	2.675	2.669
ABSORCION	%	$\frac{(S - A)}{A}$	1.420	1.235	1.256	1.304

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 54: Densidad relativa de la arena B

ARENA B						
DENSIDAD RELATIVA DEL AGREGADO FINO						
ITEM	UNIDAD	FORMULA	1°	2°	3°	PROMEDIO
Masa de la muestra de saturado con superficialmente seca (S)	gr	-----	500.00	500.00	500.00	-----
Masa del Picnometro lleno de la muestra y el agua (C)	gr	-----	1006.40	1006.80	1007.40	-----
Masa del picnometro llenado de agua (B)	gr	-----	697.90	698.10	698.20	-----
Masa de la Muestra seca al horno (A)	gr	-----	493.00	493.50	493.10	-----
PESO ESPECIFICO DE MASA SECA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SS)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2.574	2.580	2.584	2.580
PESO ESPECIFICO DE MASA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SSS)	gr/cm3	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2.611	2.614	2.621	2.615
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2.672	2.670	2.681	2.675
ABSORCION	%	$\frac{(S - A)}{A}$	1.420	1.317	1.399	1.379

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 55: Densidad relativa de la arena C

ARENA C						
DENSIDAD RELATIVA DEL AGREGADO FINO						
ITEM	UNIDAD	FORMULA	1°	2°	3°	PROMEDIO
Masa de la muestra de saturado con superficialmente seca (S)	gr	-----	500.00	500.00	500.00	-----
Masa del Picnometro lleno de la muestra y el agua (C)	gr	-----	1007.40	1007.80	1007.80	-----
Masa del picnometro llenado de agua (B)	gr	-----	697.90	698.10	698.20	-----
Masa de la Muestra seca al horno (A)	gr	-----	492.50	493.40	494.00	-----
PESO ESPECIFICO DE MASA SECA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SS)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2.585	2.593	2.595	2.591
PESO ESPECIFICO DE MASA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SSS)	gr/cm3	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2.625	2.627	2.626	2.626
DENSIDAD RELATIVA APARENTE (GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE)	gr/cm3	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2.691	2.686	2.679	2.685
ABSORCION	%	$\frac{(S - A)}{A}$	1.523	1.338	1.215	1.358

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 56: Peso específico del agua par ensayo de peso unitario del agregado fino

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso de Fiola + Agua	gr	698.50	698.60	698.80	698.63
Peso de Fiola	gr	201.00	201.00	201.00	201.00
Peso de Agua	gr	497.50	497.60	497.80	497.63
Volumen de Agua	cm3	500.00	500.00	500.00	500.00
Peso específico del Agua	gr/cm3	0.995	0.995	0.996	0.995

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 57: Factor agua para ensayo de peso unitario del agregado fino

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso de Molde + Vidrio	gr	4760.000	4760.000	4760.000	4760.000
Peso de Molde + Vidrio + Agua	gr	7770.000	7775.000	7775.000	7773.333
Peso de Agua	gr	3010.000	3015.000	3015.000	3013.333
Peso específico del Agua	gr/cm3	0.995	0.995	0.996	0.995
Factor de agua f	cm3	0.00033056	0.00033008	0.00033022	0.00033029

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 58: Peso unitario del agregado fino “A” en estado seco suelto

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8355.00	8368.00	8370.00	8364.33
Peso del Agregado	gr	4475.00	4488.00	4490.00	4484.33
Factor (f)	cm3	0.00033029	0.00033029	0.00033029	0.000330288
Peso Unitario seco suelto (PUSS)	gr/cm3	1.478	1.482	1.483	1.481

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 59: Peso unitario del agregado fino “A” en estado seco compactado

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8910.00	8895.00	8915.00	8906.67
Peso del Agregado	gr	5030.00	5015.00	5035.00	5026.67
Factor (f)	cm3	0.00033029	0.00033029	0.00033029	0.000330288
Peso Unitario seco compactado (PUSC)	gr/cm3	1.661	1.656	1.663	1.660

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 60: Peso unitario del agregado fino “B” en estado seco suelto

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8330.00	8345.00	8370.00	8348.33
Peso del Agregado	gr	4450.00	4465.00	4490.00	4468.33
Factor (f)	cm3	0.00033029	0.00033029	0.00033029	0.00033029
Peso Unitario seco suelto (PUSS)	gr/cm3	1.470	1.475	1.483	1.476

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 61: Peso unitario del agregado fino “B” en estado seco compactado

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8885.00	8870.00	8875.00	8876.67
Peso del Agregado	gr	5005.00	4990.00	4995.00	4996.67
Factor (f)	cm3	0.00033029	0.00033029	0.00033029	0.000330288
Peso Unitario seco compactado (PUSC)	gr/cm3	1.653	1.648	1.650	1.650

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 62: Peso unitario del agregado fino “C” en estado seco suelto

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8255.00	8255.00	8250.00	8253.33
Peso del Agregado	gr	4375.00	4375.00	4370.00	4373.33
Factor (f)	cm3	0.00033029	0.00033029	0.00033029	0.00033029
Peso Unitario seco suelto (PUSS)	gr/cm3	1.445	1.445	1.443	1.444

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 63: Peso unitario del agregado fino “C” en estado seco compactado

ITEM	UNIDAD	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso del molde	gr	3880.00	3880.00	3880.00	3880.00
Peso del molde + agregado	gr	8610.00	8660.00	8680.00	8650.00
Peso del Agregado	gr	4730.00	4780.00	4800.00	4770.00
Factor (f)	cm3	0.00033029	0.00033029	0.00033029	0.000330288
Peso Unitario seco compactado (PUSC)	gr/cm3	1.562	1.579	1.585	1.575

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 64: Porcentaje de vacíos de la arena A

ITEM	UNIDAD	AGREGADO FINO
Peso Unitario seco suelto (PUSS)	Kg/m3	1475.84
Peso Unitario seco compactado (PUSC)	Kg/m3	1650.34
Peso Específico De Masa Seca (Gravedad Especifica) (SS)	gr/cm3	2.58
Peso específico del Agua	Kg/m3	995.27
Vacíos en base al agregado suelto	%	42.51
Vacíos en base al agregado compactado	%	35.72

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 65: Porcentaje de vacíos de la arena B

ITEM	UNIDAD	AGREGADO FINO
Peso Unitario seco suelto (PUSS)	Kg/m ³	1475.84
Peso Unitario seco compactado (PUSC)	Kg/m ³	1650.34
Peso Específico De Masa Seca (Gravedad Especifica) (SS)	gr/cm ³	2.58
Peso específico del Agua	Kg/m ³	995.27
Vacíos en base al agregado suelto	%	42.51
Vacíos en base al agregado compactado	%	35.72

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 66: Porcentaje de vacíos de la arena C

ITEM	UNIDAD	AGREGADO FINO
Peso Unitario seco suelto (PUSS)	Kg/m ³	1444.46
Peso Unitario seco compactado (PUSC)	Kg/m ³	1575.47
PESO ESPECIFICO DE MASA SECA (GRAVEDAD ESPECIFICA) (SS)	gr/cm ³	2.59
Peso específico del Agua	Kg/m ³	995.27
Vacíos en base al agregado suelto	%	43.98
Vacíos en base al agregado compactado	%	38.90

Fuente: Elaboración propia (2016)

7.2.ANEXO II: DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO LIGERO A BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO

Propiedades del agregado fino	Unidad	Cantera "la Victoria"		
		Arena A*	Arena B**	Arena C***
Peso Específico de masa seca (Gravedad específica) (SS)	gr/cm ³	2.580	2.580	2.591
Absorción	%	1.304	1.379	1.358
PESO ESPECIFICO DE MASA SECA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) (SS)	gr/cm ³	1.481	1.476	1.444
PESO ESPECÍFICO DE MASA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) (SSS)	gr/cm ³	1.660	1.650	1.575

ITEM	CONTENIDO DE HUMEDAD (P)
ARENA A*	2.00 %
ARENA B**	3.00 %
ARENA C***	2.50 %

DOSIFICACION 1200 Kg/m³:

- Densidad del poliestireno expandido modificado (γ_p): 154.17 kg/m³
- Peso específico del cemento (P_{ec}): 3.12 gr/cm³
- Peso específico de masa seca (γ_{ss}): 2.580 gr/cm³
- Contenido de humedad de la arena (w): 2%
- Absorción de la arena (a): 1.304%
- Peso específico del agua (γ_w): 999.7 kg/m³

- xiv. Calculamos la resistencia a la compresión deseada utilizando la siguiente fórmula:

$$f'c = 0.34e^{0.0022\gamma_s}$$

Donde:

$$\gamma_s = \text{Peso unitario en estado endurecido del concreto celular}$$

Reemplazando el valor del peso unitario en estado endurecido obtenemos

$$f'c = 0.34e^{0.0022*1200}$$

$$f'c = 4.76 \text{ MPa} = 48.58 \text{ kg/cm}^2$$

- xv. Asumimos una relación a/c=0.50 (de un rango de 0.45-0.60, según el ACI 523 3R)
- xvi. Calculamos la relación af/c (agregado fino/cemento).

$$\frac{af}{c} = \frac{\gamma_f - 673}{345}$$

Donde:

$$\gamma_f = \text{Peso unitario en estado fresco del concreto celular}$$

Reemplazando el valor de γ_f se obtiene:

$$\frac{af}{c} = \frac{1320 - 673}{345} = 1.88$$

- xvii. Calculamos el peso unitario en estado endurecido del Concreto Ligero a base de poliestireno expandido modificado usando la siguiente ecuación:

$$\gamma_s = \gamma_f - 122$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$\gamma_s = 1320 - 122$$

$$\gamma_s = 1198 \text{ kg/m}^3$$

- xviii. Para calcular el contenido de cemento se usará la siguiente ecuación:

$$c = \frac{\gamma_f}{1 + \frac{a}{c} + \frac{af}{c}}$$

Reemplazando los valores obtenidos en los pasos anteriores obtenemos:

$$c = \frac{1320}{1 + 0.5 + 1.88} = 390.532 \text{ kg}$$

- xix. Calculamos la cantidad de agregado fino a utilizar:

$$\frac{af}{c} = 1.88$$

Reemplazando el valor del cemento (c) se tiene:

$$af = 1.88 * 390.532 = 734.201 \text{ kg/m}^3$$

xx. Calculamos la cantidad de agua de diseño a utilizar:

$$\frac{a}{c} = 0.5$$

Reemplazando el valor del cemento (c) se tiene:

$$a = 0.5 * 390.532 = 195.266 \text{ kg/m}^3$$

xxi. Calculamos el volumen absoluto de los sólidos (cemento, arena y agua)

$$V_A = \frac{c}{Pec * 1000} + \frac{a}{\gamma_w} + \frac{af}{\gamma_{ss} * 1000}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$V_A = \frac{390.532}{3.12 * 1000} + \frac{195.266}{999.7} + \frac{734.201}{2.580 * 1000}$$

$$V_A = 0.605069 \text{ m}^3$$

xxii. Calculamos volumen de aire requerido por unidad de volumen de concreto

$$A_v = 1 - 0.605069 = 0.3949 \text{ m}^3$$

xxiii. Calculamos el peso del poliestireno expandido (EPS) requerido

$$F = A_v * \gamma_e$$

$$F = 0.395 * 154.17 = 60.89 \text{ kg/m}^3$$

xxiv. Ajuste de la cantidad de agua de diseño debido al contenido de humedad en el agregado fino:

Agua en el agregado fino

$$a_a = Af * \left(\frac{w - a}{100} \right)$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$a_a = 734.201 * \left(\frac{2 - 1.304}{100} \right)$$

$$A_a = 5.110 \text{ kg/m}^3$$

Agua final de mezcla

$$A_m = a - a_a$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$A_m = 195.266 - 5.110 = 190.156 \text{ kg/m}^3$$

xxv. Cantidad de agregado fino corregido:

$$A_c = a + a_a$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$A_c = 734.201 + 5.110 = 739.311 \text{ kg/m}^3$$

xxvi. Las proporciones de la mezcla por metro cubico ajustada son las siguientes:

Cemento:	390.532 kg/m³
Agua de mezcla:	190.156 kg/m ³
Agregado Fino:	739.311 kg/m ³
Poliestireno:	60.89 kg/m ³

DOSIFICACION 1400 Kg/m3

- Densidad del poliestireno expandido modificado (γ_p): 154.17 kg/m³
 - Peso específico del cemento (Pec): 3.12 gr/cm³
 - Peso específico de masa seca (γ_{ss}): 2.591 gr/cm³
 - Contenido de humedad de la arena (w): 3%
 - Absorción de la arena (a): 1.379%
 - Peso específico del agua (γ_w): 999.7 kg/m³
- i. Calculamos la resistencia a la compresión deseada utilizando la siguiente fórmula:

$$f'c = 0.34e^{0.0022\gamma_s}$$

Donde:

$$\gamma_s = \text{Peso unitario en estado endurecido del concreto celular}$$

Reemplazando el valor del peso unitario en estado endurecido obtenemos

$$f'c = 0.34e^{0.0022*1400}$$

$$f'c = 7.40 \text{ MPa} = 75.44 \text{ kg/cm}^2$$

- ii. Asumimos una relación $a/c=0.50$ (de un rango de 0.45-0.60, según el ACI 523 3R)
- iii. Calculamos la relación af/c (agregado fino/cemento).

$$\frac{af}{c} = \frac{\gamma_f - 673}{345}$$

Donde:

$$\gamma_f = \text{Peso unitario en estado fresco del concreto celular}$$

Reemplazando el valor de γ_f se obtiene:

$$\frac{af}{c} = \frac{1520 - 673}{345} = 2,46$$

- iv. Calculamos el peso unitario en estado endurecido del Concreto Ligero a base de poliestireno expandido modificado usando la siguiente ecuación:

$$\gamma_s = \gamma_f - 122$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$\gamma_s = 1520 - 122$$

$$\gamma_s = 1398 \text{ kg/m}^3$$

- v. Para calcular el contenido de cemento se usará la siguiente ecuación:

$$c = \frac{\gamma_f}{1 + \frac{a}{c} + \frac{af}{c}}$$

Reemplazando los valores obtenidos en los pasos anteriores obtenemos:

$$c = \frac{1520}{1 + 0.5 + 2.46} = 383.838 \text{ kg}$$

- vi. Calculamos la cantidad de agregado fino a utilizar:

$$\frac{af}{c} = 2.46$$

Reemplazando el valor del cemento (c) se tiene:

$$af = 2.46 * 383.838 = 944.242 \text{ kg/m}^3$$

- vii. Calculamos la cantidad de agua de diseño a utilizar:

$$\frac{a}{c} = 0.5$$

Reemplazando el valor del cemento (c) se tiene:

$$a = 0.5 * 383.838 = 191.919 \text{ kg/m}^3$$

- viii. Calculamos el volumen absoluto de los sólidos (cemento, arena y agua)

$$V_A = \frac{c}{Pec * 1000} + \frac{a}{\gamma_w} + \frac{af}{\gamma_{ss} * 1000}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$V_A = \frac{383.838}{3.12 * 1000} + \frac{191.919}{999.7} + \frac{944.242}{2.580 * 1000}$$

$$V_A = 0.680986 \text{ m}^3$$

- ix. Calculamos volumen de aire requerido por unidad de volumen de concreto

$$A_v = 1 - 0.685927 = 0.3190 \text{ m}^3$$

- x. Calculamos el peso del poliestireno expandido (EPS) requerido

$$F = A_v * \gamma_p$$

$$F = 0.3190 * 154.17 = 49.18 \text{ kg/m}^3$$

- xi. Ajuste de la cantidad de agua de diseño debido al contenido de humedad en el agregado fino:

Agua en el agregado fino

$$a_a = Af * \left(\frac{w - a}{100} \right)$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$a_a = 944.242 * \left(\frac{3 - 1.379}{100} \right)$$

$$A_a = 15.306 \text{ kg/m}^3$$

Agua final de mezcla

$$A_m = a - a_a$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$A_m = 191.919 - 15.306 = 176.613 \text{ kg/m}^3$$

- xii. Cantidad de agregado fino corregido:

$$A_c = a_f + a_a$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$A_c = 944.242 + 15.306 = 959.548 \text{ kg/m}^3$$

- xiii. Las proporciones de la mezcla por metro cubico ajustada son las siguientes:

Cemento:	383.838 kg/m³
Agua de mezcla:	176.613 kg/m ³
Agregado Fino:	959.548 kg/m ³
Poliestireno:	49.18 kg/m ³

DOSIFICACION 1600 Kg/m³

- Densidad del poliestireno expandido modificado (γ_p): 154.17 kg/m³
 - Peso específico del cemento (Pec): 3.12 gr/cm³
 - Peso específico de masa seca (γ_{ss}): 2.591 gr/cm³
 - Contenido de humedad de la arena (w): 2.5%
 - Absorción de la arena (a): 1.358%
 - Peso específico del agua (γ_w): 999.7 kg/m³
- i. Calculamos la resistencia a la compresión deseada utilizando la siguiente fórmula:

$$f'c = 0.34e^{0.0022\gamma_s}$$

Donde:

$$\gamma_s = \text{Peso unitario en estado endurecido del concreto celular}$$

Reemplazando el valor del peso unitario en estado endurecido obtenemos

$$f'c = 0.34e^{0.0022*1600}$$

$$f'c = 11.49 \text{ MPa} = 117,13 \text{ kg/cm}^2$$

- ii. Asumimos una relación a/c=0.50 (de un rango de 0.45-0.60, según el ACI 523 3R)
- iii. Calculamos la relación af/c (agregado fino/cemento).

$$\frac{af}{c} = \frac{\gamma_f - 673}{345}$$

Donde:

$$\gamma_f = \text{Peso unitario en estado fresco del concreto celular}$$

Reemplazando el valor de γ_f se obtiene:

$$\frac{af}{c} = \frac{1720 - 673}{345} = 3.03$$

- iv. Calculamos el peso unitario en estado endurecido del Concreto Ligero a base de poliestireno expandido modificado usando la siguiente ecuación:

$$\gamma_s = \gamma_f - 122$$

Reemplazando valores obtenemos:

$$\gamma_s = 1720 - 122$$

$$\gamma_s = 1598 \text{ kg/m}^3$$

- v. Para calcular el contenido de cemento se usará la siguiente ecuación:

$$c = \frac{\gamma_f}{1 + \frac{a}{c} + \frac{af}{c}}$$

Reemplazando los valores obtenidos en los pasos anteriores obtenemos:

$$c = \frac{1720}{1 + 0.5 + 3.03} = 379.691 \text{ kg}$$

- vi. Calculamos la cantidad de agregado fino a utilizar:

$$\frac{af}{c} = 3.03$$

Reemplazando el valor del cemento (c) se tiene:

$$af = 3.03 * 379.691 = 1150.464 \text{ kg/m}^3$$

- vii. Calculamos la cantidad de agua de diseño a utilizar:

$$\frac{a}{c} = 0.5$$

Reemplazando el valor del cemento (c) se tiene:

$$a = 0.5 * 379.691 = 189.846 \text{ kg/m}^3$$

- viii. Calculamos el volumen absoluto de los sólidos (cemento, arena y agua)

$$V_A = \frac{c}{Pec * 1000} + \frac{a}{\gamma_w} + \frac{af}{\gamma_{ss} * 1000}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$V_A = \frac{379.691}{3.12 * 1000} + \frac{189.846}{999.7} + \frac{1150.464}{2.591 * 1000}$$

$$V_A = 0.755622 \text{ m}^3$$

- ix. Calculamos volumen de aire requerido por unidad de volumen de concreto

$$A_v = 1 - 0.755622 = 0.2444 \text{ m}^3$$

- x. Calculamos el peso del poliestireno expandido (EPS) requerido

$$F = A_v * \gamma_p$$

$$F = 0.2444 * 154.17 = 37.68 \text{ kg/m}^3$$

- xi. Ajuste de la cantidad de agua de diseño debido al contenido de humedad en el agregado fino:

Agua en el agregado fino

$$a_a = Af * \left(\frac{w - a}{100} \right)$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$a_a = 1150.464 * \left(\frac{2.5 - 1.358}{100} \right)$$

$$A_a = 13.138 \text{ kg/m}^3$$

Agua final de mezcla

$$A_m = a - a_a$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$A_m = 189.846 - 13.138 = 176.708 \text{ kg/m}^3$$

- xii. Cantidad de agregado fino corregido:

$$A_c = a + a_a$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$A_c = 1150.464 + 13.138 = 1163.602 \text{ kg/m}^3$$

- xiii. Las proporciones de la mezcla por metro cubico ajustada son las siguientes:

Cemento:	379.691 kg/m³
Agua de mezcla:	176.708 kg/m ³
Agregado Fino:	1150.464 kg/m ³
Poliestireno:	37.68 kg/m ³

7.3.ANEXO IV: RESULTADOS DE ENSAYOS FISICO - MECANICOS EN CUBOS DE CONCRETO LIGERO

Descripción: Concreto Ligero

Arena: Cantera la Victoria (Arena A)

Densidad Aparente: 1200 kg/m³

Tabla n° 67: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1200 kg/m³.

Datos Especímenes	DA = 1200 KG/M3															Promedio		
	CL-1200-01	CL-1200-02	CL-1200-03	CL-1200-04	CL-1200-05	CL-1200-06	CL-1200-07	CL-1200-08	CL-1200-09	CL-1200-10	CL-1200-11	CL-1200-12	CL-1200-13	CL-1200-14	CL-1200-15	7 días	14 días	28 días
Edad de Ensayo	7 días					14 días					28 días							
Ancho (cm)	10.16	10.18	10.20	10.17	10.15	10.17	10.16	10.10	10.13	10.20	10.16	10.17	10.18	10.10	10.20	10.17	10.15	10.16
Largo (cm)	10.15	10.17	10.19	10.16	10.17	10.16	10.15	10.15	10.17	10.23	10.12	10.16	10.17	10.15	10.19	10.17	10.17	10.16
Altura (cm)	10.21	10.24	10.20	10.21	10.20	10.21	10.21	10.20	10.16	10.10	10.18	10.21	10.24	10.20	10.20	10.21	10.18	10.21
Peso (gr)	1398.87	1261.56	1267.34	1278.43	1309.45	1209.09	1208.46	1198.57	1186.56	1191.08	1208.07	1215.28	1230.09	1190.89	1198.89	1303.13	1198.75	1208.64
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	1245.35	1267.98	1245.32	1224.45	1278.43	1189.45	1198.45	1187.89	1175.54	1187.45	1210.08	1199.97	1216.67	1207.01	1190.98	1252.31	1187.76	1204.94
Carga Maxima de rotura (Kg)	1500.00	1600.00	1400.00	1600.00	1500.00	2600.00	2600.00	2500.00	2500.00	2400.00	4000.00	3900.00	3800.00	3500.00	3300.00	1520.00	2520.00	3700.00
Resistencia a la compresion maxima (kg/cm ²)	14.55	15.45	13.47	15.48	14.53	25.16	25.21	24.39	24.27	23.00	38.90	37.74	36.70	34.14	31.75	14.70	24.41	35.85
Resistencia a la compresion maxima (MPa)	1.43	1.52	1.32	1.52	1.42	2.47	2.47	2.39	2.38	2.25	3.81	3.70	3.60	3.35	3.11	1.44	2.39	3.51
Modulo de Elasticidad ACI 318S (Mpa)	2134.55	2200.22	2054.08	2202.38	2133.50	2807.50	2810.26	2763.86	2757.05	2684.16	3490.87	3438.47	3390.76	3270.25	3153.62	2145.64	2764.95	3351.01
Tiempo de Ensayo (min)	2.00	2.00	1.90	1.80	2.00	1.90	1.80	2.00	2.00	2.00	2.00	1.90	1.80	2.00	2.00	1.94	1.94	1.94
Velocidad (Mpa/min)	0.023	0.020	0.020	0.021	0.022	0.025	0.024	0.023	0.024	0.023	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025	0.021	0.024	0.026
Tipo de espécimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico

Datos Especímenes	DA = 1200 KG/M3															Promedio		
	CL-1200-16	CL-1200-17	CL-1200-18	CL-1200-19	CL-1200-20	CL-1200-21	CL-1200-22	CL-1200-23	CL-1200-24	CL-1200-25	CL-1200-26	CL-1200-27	CL-1200-28	CL-1200-29	CL-1200-30	7 días	14 días	28 días
Edad de Ensayo	7 días					14 días					28 días							
Ancho (cm)	10.10	10.13	10.20	10.18	10.20	10.16	10.18	10.20	10.10	10.20	10.20	10.17	10.15	10.16	10.10	10.16	10.17	10.16
Largo (cm)	10.15	10.17	10.23	10.17	10.19	10.15	10.17	10.19	10.15	10.19	10.19	10.16	10.17	10.15	10.15	10.18	10.17	10.16
Altura (cm)	10.20	10.16	10.10	10.24	10.20	10.21	10.24	10.20	10.20	10.20	10.20	10.21	10.20	10.21	10.20	10.18	10.21	10.20
Peso (gr)	1198.96	1187.63	1148.65	1175.85	1198.36	1209.09	1208.46	1198.57	1186.56	1191.08	1205.65	1210.61	1215.28	1214.85	1239.27	1181.89	1198.75	1217.13
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	1164.50	1148.32	1139.56	1159.89	1165.47	1195.63	1194.54	1192.36	1171.96	1180.37	1206.37	1209.26	1225.14	1207.23	1248.35	1155.55	1186.97	1219.27
Carga Maxima de rotura (Kg)	1500.00	1600.00	1400.00	1600.00	1500.00	2600.00	2600.00	2500.00	2500.00	2400.00	4000.00	3900.00	3800.00	3500.00	3300.00	1520.00	2520.00	3700.00
Resistencia a la compresion maxima (kg/cm ²)	14.63	15.53	13.42	15.45	14.43	25.21	25.11	24.05	24.39	23.09	38.48	37.74	36.81	33.94	32.19	14.69	24.37	35.83
Resistencia a la compresion maxima (MPa)	1.43	1.52	1.32	1.52	1.41	2.47	2.46	2.36	2.39	2.26	3.77	3.70	3.61	3.33	3.16	1.44	2.39	3.51
Modulo de Elasticidad ACI 318S (Mpa)	2140.88	2205.64	2050.06	2200.22	2126.17	2810.26	2804.74	2744.88	2763.86	2689.42	3472.03	3438.47	3395.77	3260.58	3175.44	2144.59	2762.63	3348.46
Tiempo de Ensayo (min)	1.90	1.80	2.00	1.80	2.00	2.00	1.80	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.80	1.90	1.96	1.96
Velocidad (Mpa/min)	0.024	0.021	0.020	0.022	0.021	0.026	0.024	0.023	0.024	0.022	0.027	0.026	0.025	0.025	0.025	0.02	0.02	0.03
Tipo de espécimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico

Fuente: Elaboración propia (2016)

Descripción: Concreto Ligero

Arena: Cantera la Victoria (Arena A)

Densidad Aparente: 1400 kg/m³

Tabla n° 68: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1400 kg/m³.

Datos Especímenes	DA = 1400 KG/M ³															Promedio		
	CL-1400-01	CL-1400-02	CL-1400-03	CL-1400-04	CL-1400-05	CL-1400-06	CL-1400-07	CL-1400-08	CL-1400-09	CL-1400-10	CL-1400-11	CL-1400-12	CL-1400-13	CL-1400-14	CL-1400-15	7 días	14 días	28 días
Nomenclatura																		
Edad de Ensayo	7 días					14 días					28 días							
Ancho (cm)	10.20	10.17	10.15	10.18	10.20	10.10	10.13	10.20	10.10	10.20	10.18	10.20	10.10	10.16	10.10	10.18	10.15	10.15
Largo (cm)	10.19	10.16	10.17	10.17	10.19	10.15	10.17	10.23	10.15	10.19	10.17	10.19	10.15	10.15	10.15	10.18	10.18	10.16
Altura (cm)	10.20	10.21	10.20	10.24	10.20	10.20	10.16	10.10	10.20	10.20	10.24	10.20	10.20	10.21	10.20	10.21	10.17	10.21
Peso (gr)	1523.19	1502.85	1503.47	1523.14	1513.48	1507.85	1523.19	1547.23	1546.27	1503.47	1504.23	1514.23	1523.14	1513.48	1523.19	1513.23	1525.60	1515.65
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	1514.23	1507.65	1516.14	1505.35	1504.23	1503.47	1503.47	1507.85	1532.28	1523.14	1513.48	1523.19	1505.35	1504.23	1514.23	1509.52	1514.04	1512.10
Carga Maxima de rotura (Kg)	2600.00	2200.00	2700.00	2800.00	2900.00	4400.00	4500.00	4200.00	4500.00	4200.00	5200.00	5500.00	5450.00	5350.00	5200.00	2640.00	4360.00	5340.00
Resistencia a la compresion maxima (kg/cm ²)	25.01	21.29	26.16	27.05	27.90	42.92	43.68	40.25	43.90	40.41	50.23	52.92	53.16	51.88	50.72	25.48	42.23	51.78
Resistencia a la compresion maxima (MPa)	2.45	2.09	2.56	2.65	2.74	4.21	4.28	3.95	4.30	3.96	4.92	5.19	5.21	5.09	4.97	2.50	4.14	5.08
Modulo de Elasticidad ACI 318S (Mpa)	3527.44	3254.35	3607.02	3667.80	3725.39	4620.54	4661.24	4474.53	4672.75	4483.30	4998.36	5130.44	5142.39	5079.93	5023.06	3556.40	4582.47	5074.84
Tiempo de Ensayo (min)	1.90	1.80	2.00	1.80	2.00	2.00	1.80	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.80	1.90	1.96	1.96
Velocidad (Mpa/min)	0.040	0.037	0.037	0.038	0.039	0.042	0.041	0.040	0.041	0.040	0.043	0.043	0.043	0.042	0.042	0.038	0.041	0.043
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico

Datos Especímenes	DA = 1400 KG/M ³															Promedio		
	CL-1400-16	CL-1400-17	CL-1400-18	CL-1400-19	CL-1400-20	CL-1400-21	CL-1400-22	CL-1400-23	CL-1400-24	CL-1400-25	CL-1400-26	CL-1400-27	CL-1400-28	CL-1400-29	CL-1400-30	7 días	14 días	28 días
Nomenclatura																		
Edad de Ensayo	7 días					14 días					28 días							
Ancho (cm)	10.20	10.17	10.15	10.18	10.20	10.16	10.18	10.20	10.10	10.20	10.20	10.16	10.18	10.20	10.10	10.18	10.17	10.17
Largo (cm)	10.19	10.16	10.17	10.17	10.19	10.15	10.17	10.19	10.15	10.19	10.19	10.15	10.17	10.19	10.15	10.18	10.17	10.17
Altura (cm)	10.20	10.21	10.20	10.24	10.20	10.21	10.24	10.20	10.20	10.20	10.20	10.21	10.24	10.20	10.20	10.21	10.21	10.21
Peso (gr)	1523.14	1513.48	1523.19	1502.85	1503.47	1503.47	1504.23	1514.23	1507.65	1503.47	1503.47	1507.85	1523.19	1547.23	1546.27	1513.23	1506.61	1525.60
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	1505.35	1504.23	1514.23	1507.65	1516.14	1523.14	1513.48	1523.19	1547.23	1546.27	1502.85	1503.47	1503.47	1507.85	1532.28	1509.52	1530.66	1509.98
Carga Maxima de rotura (Kg)	2800.00	2600.00	2400.00	2600.00	2500.00	4200.00	4400.00	4200.00	4500.00	4200.00	5150.00	5250.00	5450.00	5300.00	5250.00	2580.00	4300.00	5280.00
Resistencia a la compresion maxima (kg/cm ²)	26.94	25.16	23.25	25.11	24.05	40.73	42.50	40.41	43.90	40.41	49.55	50.91	52.64	50.99	51.21	24.90	41.59	51.06
Resistencia a la compresion maxima (MPa)	2.64	2.47	2.28	2.46	2.36	3.99	4.17	3.96	4.30	3.96	4.86	4.99	5.16	5.00	5.02	2.44	4.08	5.01
Modulo de Elasticidad ACI 318S (Mpa)	3660.60	3537.85	3400.73	3534.38	3458.94	4500.96	4597.82	4483.30	4672.75	4483.30	4964.52	5032.23	5117.10	5036.30	5047.15	3518.50	4547.63	5039.46
Tiempo de Ensayo (min)	1.90	1.80	2.00	1.80	2.00	2.00	1.80	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.80	1.90	1.96	1.96
Velocidad (Mpa/min)	0.030	0.027	0.027	0.028	0.029	0.032	0.031	0.030	0.031	0.030	0.033	0.033	0.033	0.032	0.032	0.028	0.031	0.033
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico

Fuente: Elaboración propia (2016)

Descripción: Concreto Ligero

Arena: Cantera la Victoria (Arena A)

Densidad Aparente: 1600 kg/m³

Tabla n° 69: Especímenes cúbicos ensayados a compresión, a los 7, 14 y 28, densidad aparente de 1600 kg/m³.

Datos Especímenes	DA = 1600 KG/M3															Promedio		
	Nomenclatura															7 días	14 días	28 días
Edad de Ensayo	CL-1600-01	CL-1600-02	CL-1600-03	CL-1600-04	CL-1600-05	CL-1600-06	CL-1600-07	CL-1600-08	CL-1600-09	CL-1600-10	CL-1600-11	CL-1600-12	CL-1600-13	CL-1600-14	CL-1600-15	7 días	14 días	28 días
Ancho (cm)	10.10	10.18	10.20	10.10	10.20	10.16	10.18	10.17	10.15	10.16	10.20	10.17	10.15	10.16	10.10	10.16	10.16	10.16
Largo (cm)	10.15	10.17	10.19	10.15	10.19	10.15	10.17	10.16	10.17	10.15	10.19	10.16	10.17	10.15	10.15	10.17	10.16	10.16
Altura (cm)	10.20	10.24	10.20	10.20	10.20	10.21	10.24	10.21	10.20	10.21	10.20	10.21	10.20	10.21	10.20	10.21	10.21	10.20
Peso (gr)	1723.15	1745.45	1710.25	1756.58	1745.12	1723.15	1745.25	1745.15	1712.15	1706.56	1708.45	1709.45	1756.58	1745.12	1723.15	1736.11	1726.45	1728.55
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	1756.58	1745.12	1723.15	1745.25	1745.15	1712.15	1723.15	1745.45	1710.25	1702.50	1706.56	1708.45	1709.45	1709.56	1708.45	1743.05	1718.70	1708.49
Carga Maxima de rotura (Kg)	2900.00	3000.00	2950.00	3000.00	3200.00	5500.00	5400.00	5200.00	5500.00	5400.00	6500.00	6500.00	6300.00	6200.00	6400.00	3010.00	5400.00	6380.00
Resistencia a la compresion maxima (kg/cm ²)	28.29	28.98	28.38	29.26	30.79	53.33	52.16	50.33	53.28	52.36	62.54	62.91	61.03	60.12	62.43	29.14	52.29	61.81
Resistencia a la compresion maxima (MPa)	2.77	2.84	2.78	2.87	3.02	5.23	5.11	4.93	5.22	5.13	6.13	6.17	5.98	5.89	6.12	2.86	5.13	6.06
Modulo de Elasticidad ACI 318S (Mpa)	4583.04	4638.47	4590.63	4661.39	4781.19	6292.89	6223.16	6112.84	6289.79	6235.41	6814.25	6834.36	6731.71	6681.35	6808.39	4650.94	6230.82	6774.01
Tiempo de Ensayo (min)	1.90	1.80	2.00	1.80	2.00	2.00	1.80	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.80	1.90	1.96	1.96
Velocidad (Mpa/min)	0.042	0.039	0.039	0.040	0.041	0.044	0.043	0.042	0.043	0.042	0.045	0.045	0.045	0.044	0.044	0.041	0.043	0.045
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico

Datos Especímenes	DA = 1600 KG/M3															Promedio		
	Nomenclatura															7 días	14 días	28 días
Edad de Ensayo	CL-1600-16	CL-1600-17	CL-1600-18	CL-1600-19	CL-1600-20	CL-1600-21	CL-1600-22	CL-1600-23	CL-1600-24	CL-1600-25	CL-1600-26	CL-1600-27	CL-1600-28	CL-1600-29	CL-1600-30	7 días	14 días	28 días
Ancho (cm)	10.10	10.20	10.10	10.20	10.20	10.16	10.18	10.20	10.10	10.20	10.15	10.16	10.15	10.18	10.20	10.16	10.17	10.17
Largo (cm)	10.15	10.19	10.15	10.19	10.19	10.15	10.17	10.19	10.15	10.19	10.17	10.15	10.17	10.17	10.19	10.17	10.17	10.17
Altura (cm)	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.21	10.24	10.20	10.20	10.20	10.20	10.21	10.20	10.24	10.20	10.20	10.21	10.21
Peso (gr)	1710.25	1756.58	1745.12	1712.15	1706.56	1723.15	1745.45	1710.25	1756.58	1745.12	1745.15	1712.15	1756.58	1745.12	1723.15	1726.13	1736.11	1736.43
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m ³)	1723.15	1745.25	1745.15	1710.25	1702.50	1756.58	1745.12	1723.15	1745.25	1745.15	1745.45	1710.25	1709.45	1709.56	1708.45	1725.26	1743.05	1716.63
Carga Maxima de rotura (Kg)	3200.00	2950.00	2900.00	3150.00	3100.00	5400.00	5400.00	5300.00	5500.00	5500.00	6500.00	6500.00	6400.00	6200.00	6400.00	3060.00	5420.00	6400.00
Resistencia a la compresion maxima (kg/cm ²)	31.21	28.38	28.29	30.31	29.83	52.36	52.16	50.99	53.65	52.92	62.97	63.03	62.00	59.89	61.58	29.60	52.42	61.89
Resistencia a la compresion maxima (MPa)	3.06	2.78	2.77	2.97	2.92	5.13	5.11	5.00	5.26	5.19	6.17	6.18	6.08	5.87	6.04	2.90	5.14	6.07
Modulo de Elasticidad ACI 318S (Mpa)	4814.26	4590.63	4583.04	4743.69	4705.89	6235.41	6223.16	6153.17	6311.55	6268.20	6837.72	6841.09	6784.92	6668.22	6761.63	4687.50	6238.30	6778.72
Tiempo de Ensayo (min)	1.90	1.80	2.00	1.80	2.00	2.00	1.80	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.80	1.90	1.96	1.96
Velocidad (Mpa/min)	0.062	0.059	0.059	0.060	0.061	0.064	0.063	0.062	0.063	0.062	0.065	0.065	0.065	0.064	0.064	0.060	0.063	0.064
Tipo de especimen	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico	Cubico

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 70: Módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Ligero a los 07 y 14 días.

Densidad Aparente	Código de Especímen	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) 7 días	Prom. Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) 7 días	Densidad Aparente	Código de Especímen	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) 14 días	Prom. Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) 14 días
1200 kg/m ³	ECL 1200-1	21766.42	21870.65	1200 kg/m ³	ECL 1200-11	28628.63	28180.98
	ECL 1200-2	22436.07			ECL 1200-12	28656.82	
	ECL 1200-3	20945.85			ECL 1200-13	28183.67	
	ECL 1200-4	22458.14			ECL 1200-14	28114.22	
	ECL 1200-5	21755.71			ECL 1200-15	27370.89	
	ECL 1200-6	21830.97			ECL 1200-16	28656.82	
	ECL 1200-7	22491.37			ECL 1200-17	28600.49	
	ECL 1200-8	20904.86			ECL 1200-18	27990.07	
	ECL 1200-9	22436.07			ECL 1200-19	28183.67	
	ECL 1200-10	21681.02			ECL 1200-20	27424.56	
1400 kg/m ³	ECL 1400-1	35970.03	36072.09	1400 kg/m ³	ECL 1400-11	47116.61	46550.74
	ECL 1400-2	33185.27			ECL 1400-12	47531.60	
	ECL 1400-3	36781.53			ECL 1400-13	45627.65	
	ECL 1400-4	37401.24			ECL 1400-14	47649.01	
	ECL 1400-5	37988.59			ECL 1400-15	45717.12	
	ECL 1400-6	37327.87			ECL 1400-16	45897.19	
	ECL 1400-7	36076.19			ECL 1400-17	46884.94	
	ECL 1400-8	34677.96			ECL 1400-18	45717.12	
	ECL 1400-9	36040.74			ECL 1400-19	47649.01	
	ECL 1400-10	35271.52			ECL 1400-20	45717.12	
1600 kg/m ³	ECL 1600-1	46734.17	47613.00	1600 kg/m ³	ECL 1600-11	64169.81	63575.03
	ECL 1600-2	47299.39			ECL 1600-12	63458.79	
	ECL 1600-3	46811.56			ECL 1600-13	62333.80	
	ECL 1600-4	47533.11			ECL 1600-14	64138.25	
	ECL 1600-5	48754.77			ECL 1600-15	63583.77	
	ECL 1600-6	49091.98			ECL 1600-16	63583.77	
	ECL 1600-7	46811.56			ECL 1600-17	63458.79	
	ECL 1600-8	46734.17			ECL 1600-18	62745.13	
	ECL 1600-9	48372.37			ECL 1600-19	64360.13	
	ECL 1600-10	47986.93			ECL 1600-20	63918.04	

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 71: Módulos de elasticidad de especímenes cúbicos de Concreto Ligero a los 28 días

Densidad Aparente	Código de Especímen	RMódulo de Elasticidad (kg/cm ²) 28 días	Prom. Módulo de Elasticidad Compresión (kg/cm ²) 28 días
1200 kg/m ³	ECL 1200-21	35597.05	34146.60
	ECL 1200-22	35062.76	
	ECL 1200-23	34576.31	
	ECL 1200-24	33347.36	
	ECL 1200-25	32158.14	
	ECL 1200-26	35404.95	
	ECL 1200-27	35062.76	
	ECL 1200-28	34627.37	
	ECL 1200-29	33248.75	
	ECL 1200-30	32380.57	
1400 kg/m ³	ECL 1400-21	50969.30	51568.74
	ECL 1400-22	52316.12	
	ECL 1400-23	52437.97	
	ECL 1400-24	51801.03	
	ECL 1400-25	51221.15	
	ECL 1400-26	50624.16	
	ECL 1400-27	51314.62	
	ECL 1400-28	52180.14	
	ECL 1400-29	51356.11	
	ECL 1400-30	51466.82	
1600 kg/m ³	ECL 1600-21	69486.24	69099.93
	ECL 1600-22	69691.31	
	ECL 1600-23	68644.55	
	ECL 1600-24	68131.08	
	ECL 1600-25	69426.55	
	ECL 1600-26	69725.63	
	ECL 1600-27	69759.94	
	ECL 1600-28	69187.20	
	ECL 1600-29	67997.16	
	ECL 1600-30	68949.65	

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 72: Resultados de ensayos de absorción y peso específico en especímenes cúbicos de Concreto Ligero

Densidad Aparente	Codigo de Especímen	Ws	Wi	Wd	Absorción (%)		Peso Especifico (kg/m3)
					%	Kg/m3	
1200 kg/m3	ECL 1200-1	1356.6	377.6	1180.4	14.93	179.98	1205.72
	ECL 1200-2	1348.5	379.5	1174.6	14.81	179.46	1212.18
	ECL 1200-3	1343.4	374.4	1178.5	13.99	170.18	1216.20
	ECL 1200-4	1374.3	375.3	1196.2	14.89	178.28	1197.40
	ECL 1200-5	1354.6	375.6	1175.9	15.20	182.53	1201.12
	ECL 1200-6	1341.5	372.5	1176.4	14.03	170.38	1214.04
	ECL 1200-7	1369.3	370.3	1186.4	15.42	183.08	1187.59
	ECL 1200-8	1345.3	376.3	1176.9	14.31	173.79	1214.55
	ECL 1200-9	1349.9	370.9	1179.4	14.46	174.16	1204.70
	ECL 1200-10	1355.7	376.7	1180.7	14.82	178.75	1206.03
	ECL 1200-11	1354.9	375.9	1181.3	14.70	177.32	1206.64
	ECL 1200-12	1358.6	379.6	1184.6	14.69	177.73	1210.01
1400 kg/m3	ECL 1400-1	1667.6	638.6	1491.4	11.81	171.23	1449.37
	ECL 1400-2	1559.5	630.5	1384.3	12.66	188.59	1490.10
	ECL 1400-3	1554.4	625.4	1398.2	11.17	168.14	1505.06
	ECL 1400-4	1685.3	626.3	1509.1	11.68	166.38	1425.02
	ECL 1400-5	1645.6	636.6	1449.4	13.54	194.45	1436.47
	ECL 1400-6	1552.5	623.5	1376.3	12.80	189.67	1481.49
	ECL 1400-7	1680.3	651.3	1504.1	11.71	171.23	1461.71
	ECL 1400-8	1636.3	627.3	1450.1	12.84	184.54	1437.17
	ECL 1400-9	1630.9	631.9	1454.7	12.11	176.38	1456.16
	ECL 1400-10	1666.7	637.7	1490.5	11.82	171.23	1448.49
	ECL 1400-11	1565.9	636.9	1399.7	11.87	178.90	1506.67
	ECL 1400-12	1669.6	640.6	1493.4	11.80	171.23	1451.31
1600 kg/m3	ECL 1600-1	1978.6	849.6	1802.4	9.78	156.07	1596.46
	ECL 1600-2	1840.5	841.5	1664.3	10.59	176.38	1665.97
	ECL 1600-3	1855.4	836.4	1679.2	10.49	172.91	1647.89
	ECL 1600-4	1996.3	867.3	1820.1	9.68	156.07	1612.13
	ECL 1600-5	1856.6	827.6	1680.4	10.49	171.23	1633.04
	ECL 1600-6	1833.5	834.5	1657.3	10.63	176.38	1658.96
	ECL 1600-7	1941.3	862.3	1765.1	9.98	163.30	1635.87
	ECL 1600-8	1947.3	818.3	1751.1	11.20	173.78	1551.02
	ECL 1600-9	1841.9	812.9	1665.7	10.58	171.23	1618.76
	ECL 1600-10	1977.7	848.7	1788.5	10.58	167.58	1584.15
	ECL 1600-11	1896.9	847.9	1706.7	11.14	181.32	1626.98
	ECL 1600-12	1985.6	851.6	1796.4	10.53	166.84	1584.13

Fuente: Elaboración propia (2016)

7.4.ANEXO V: RESULTADOS DE ENSAYOS FISICO-MECANICOS EN BLOQUES DE CONCRETO LIGERO

Tabla n° 73: Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Ligero a los 7 días

Nomenclatura	BCL-1600-01	BCL-1600-02	BCL-1600-03	BCL-1600-04	BCL-1600-05	BCL-1600-06	BCL-1600-07	BCL-1600-08	BCL-1600-09	BCL-1600-10	BCL-1600-11	BCL-1600-12	BCL-1600-13	BCL-1600-14	BCL-1600-15	Promedio 7 días
Edad de Ensayo	7 días															
Ancho (cm)	9.16	9.16	9.18	9.18	9.16	9.16	9.18	9.16	9.18	9.18	9.16	9.18	9.16	9.16	9.18	9.17
Largo (cm)	39.00	39.17	39.19	39.16	39.17	39.16	39.15	39.15	39.17	39.23	39.12	39.16	39.17	39.15	39.19	39.16
Altura (cm)	19.00	19.24	19.20	19.21	19.20	19.21	19.21	19.20	19.16	19.10	19.18	19.21	19.24	19.20	19.20	19.18
Peso (gr)	9693.50	9786.88	9854.15	9679.43	9609.18	9909.09	9708.46	9798.57	9986.56	9691.08	9908.07	9815.28	10030.09	10020.89	10018.89	9834.01
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m3)	1468.90	1436.45	1432.56	1469.87	1475.36	1489.45	1398.45	1487.89	1475.54	1387.45	1410.08	1399.97	1516.67	1507.01	1590.98	1463.11
Carga Maxima de rotura (Kg)	11000.00	11200.00	11000.00	11000.00	11200.00	11200.00	11080.00	10500.00	10200.00	10600.00	11200.00	11000.00	11200.00	11000.00	10200.00	10905.33
Resistencia a la compresion maxima (kg/cm2)	30.79	31.22	30.58	30.60	31.22	31.22	30.83	29.28	28.37	29.43	31.26	30.60	31.22	30.67	28.35	30.37
Resistencia a la compresion maxima (MPa)	3.02	3.06	3.00	3.00	3.06	3.06	3.02	2.87	2.78	2.89	3.06	3.00	3.06	3.01	2.78	2.98
Modulo de Elasticidad ACI 318S (Mpa)	4781.51	4814.30	4764.70	4766.53	4814.30	4814.91	4784.44	4662.61	4589.34	4674.88	4817.37	4766.53	4814.30	4772.34	4588.17	4748.41
Tiempo de Ensayo (min)	3.12	3.20	3.15	3.13	3.12	3.20	3.00	3.25	3.30	3.97	3.15	3.22	3.10	3.15	3.15	3.21
Velocidad (Mpa/min)	0.97	0.96	0.95	0.96	0.98	0.96	1.01	0.88	0.84	0.73	0.97	0.93	0.99	0.95	0.88	0.93
Tipo de especimen	Prismático															

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 74: Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Ligero a los 14 días

Nomenclatura	BCL-1600-16	BCL-1600-17	BCL-1600-18	BCL-1600-19	BCL-1600-20	BCL-1600-21	BCL-1600-22	BCL-1600-23	BCL-1600-24	BCL-1600-25	BCL-1600-26	BCL-1600-27	BCL-1600-28	BCL-1600-29	BCL-1600-30	Promedio 14 días
Edad de Ensayo	14 días															
Ancho (cm)	9.16	9.18	9.18	9.15	9.18	9.18	9.16	9.16	9.18	9.18	9.18	9.16	9.18	9.18	9.18	9.17
Largo (cm)	39.18	39.16	39.17	39.17	39.19	39.12	39.16	39.17	39.17	39.23	39.17	39.15	39.16	39.15	39.15	39.17
Altura (cm)	19.18	19.21	19.20	19.24	19.20	19.18	19.21	19.24	19.16	19.10	19.24	19.20	19.21	19.21	19.20	19.20
Peso (gr)	9909.09	9708.46	9798.57	9986.56	9809.18	9909.09	9908.46	9786.88	9854.15	9679.43	9808.07	9609.18	9909.09	9708.46	10028.89	9827.57
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m3)	1487.89	1475.54	1332.56	1468.90	1436.45	1489.45	1410.08	1399.97	1475.54	1489.45	1410.08	1436.45	1432.56	1417.01	1580.98	1449.53
Carga Maxima de rotura (Kg)	18800.00	18800.00	18800.00	18800.00	18900.00	18990.00	19100.00	19200.00	19300.00	19700.00	19300.00	19500.00	19700.00	19600.00	19800.00	19219.33
Resistencia a la compresion maxima (kg/cm2)	52.38	52.30	52.28	52.45	52.53	52.88	53.25	53.51	53.67	54.70	53.67	54.38	54.80	54.54	55.09	53.50
Resistencia a la compresion maxima (MPa)	5.14	5.13	5.13	5.14	5.15	5.18	5.22	5.25	5.26	5.36	5.26	5.33	5.37	5.35	5.40	5.24
Modulo de Elasticidad ACI 318S (Mpa)	6236.59	6231.39	6230.59	6240.80	6245.54	6266.00	6287.76	6303.39	6312.90	6373.10	6312.90	6354.07	6378.80	6363.40	6395.78	6302.20
Tiempo de Ensayo (min)	5.15	5.22	5.10	5.10	5.12	5.25	5.00	5.20	5.25	5.90	5.15	5.22	5.10	5.15	5.15	5.20
Velocidad (Mpa/min)	1.00	0.98	1.01	1.01	1.01	0.99	1.04	1.01	1.00	0.91	1.02	1.02	1.05	1.04	1.05	1.01
Tipo de especimen	Prismático															

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 75: Resultados de ensayos a compresión simple en bloques de Concreto Ligero a los 28 días

Nomenclatura	BCL-1600-31	BCL-1600-32	BCL-1600-33	BCL-1600-34	BCL-1600-35	BCL-1600-36	BCL-1600-37	BCL-1600-38	BCL-1600-39	BCL-1600-40	BCL-1600-41	BCL-1600-42	BCL-1600-43	BCL-1600-44	BCL-1600-45	Promedio
Edad de Ensayo	28 días															Promedio
Ancho (cm)	9.18	9.16	9.18	9.18	9.18	9.16	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.16	9.18	9.18	9.18	9.18
Largo (cm)	39.16	39.17	39.15	39.16	39.15	39.00	39.17	39.16	39.15	39.17	39.15	39.18	39.16	39.17	39.23	39.16
Altura (cm)	19.21	19.24	19.20	19.21	19.21	19.00	19.24	19.21	19.21	19.24	19.20	19.18	19.21	19.20	19.10	19.19
Peso (gr)	9691.08	9908.07	9815.28	9879.43	9809.18	9709.09	9909.09	9708.46	9679.43	9609.18	9708.07	9915.28	9930.09	9990.89	9998.89	9817.43
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m3)	1458.90	1426.45	1472.56	1439.87	1425.36	1449.45	1438.45	1437.89	1425.54	1447.45	1430.08	1469.97	1456.67	1477.01	1480.98	1449.11
Carga Maxima de rotura (Kg)	21100.00	22000.00	22400.00	22300.00	22400.00	22600.00	22600.00	22500.00	22500.00	22400.00	22700.00	23000.00	23100.00	23300.00	23300.00	22546.67
Resistencia a la compresion maxima (kg/cm2)	58.69	61.32	62.33	62.03	62.33	63.26	62.85	62.59	62.60	62.29	63.16	64.09	64.26	64.80	64.70	62.75
Resistencia a la compresion maxima (MPa)	5.75	6.01	6.11	6.08	6.11	6.20	6.16	6.14	6.14	6.11	6.19	6.28	6.30	6.35	6.34	6.15
Modulo de Elasticidad ACI 318S (Mpa)	6601.56	6747.38	6802.76	6786.69	6802.76	6853.66	6831.32	6817.06	6817.93	6801.02	6848.16	6898.14	6907.35	6936.30	6931.00	6825.54
Tiempo de Ensayo (min)	5.10	6.25	6.15	6.10	6.12	6.20	6.00	6.25	6.30	6.97	6.15	6.22	6.10	6.15	6.15	6.15
Velocidad (Mpa/min)	1.13	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.03	0.98	0.97	0.88	1.01	1.01	1.03	1.03	1.03	1.00
Tipo de especimen	Prismático	Prismático														

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 76: Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Ligero a los 07 días

Nomenclatura	BCL-T-01	BCL-T-02	BCL-T-03	BCL-T-04	BCL-T-05	BCL-T-06	BCL-T-07	BCL-T-08	BCL-T-09	BCL-T-10	BCL-T-11	BCL-T-12	BCL-T-13	BCL-T-14	BCL-T-15	Promedio
Edad de Ensayo	07 días															Resist. Flexo - Tracción
Ancho (cm)	9.10	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.17
Largo (cm)	39.15	39.17	39.19	39.16	39.17	39.16	39.15	39.15	39.17	39.23	39.12	39.16	39.17	39.15	39.19	39.17
Altura (cm)	19.20	19.24	19.20	19.21	19.20	19.21	19.21	19.20	19.16	19.10	19.18	19.21	19.24	19.20	19.20	19.20
Peso (gr)	9886.56	9891.08	9808.07	9679.43	9609.18	9993.50	9786.88	9798.57	9879.43	9809.18	9909.09	9908.46	10030.09	10020.89	10018.89	9868.62
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m3)	1468.90	1436.45	1432.56	1469.87	1475.36	1489.45	1398.45	1487.89	1475.54	1387.45	1410.08	1399.97	1516.67	1507.01	1580.98	1462.44
Longitud de tramo de ensayo (cm)	34.10	34.20	34.15	34.20	34.15	34.15	34.20	34.15	34.20	34.10	34.08	34.10	34.09	34.19	34.15	34.15
Carga Máxima de rotura (Kg)	1500.00	1550.00	1650.00	1600.00	1550.00	1650.00	1550.00	1550.00	1600.00	1650.00	1650.00	1550.00	1600.00	1600.00	1650.00	1593.33
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm2)	22.87	23.40	24.98	24.23	23.46	24.95	23.47	23.46	24.36	25.20	24.98	23.40	24.08	24.25	24.98	24.14
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	2.24	2.29	2.45	2.38	2.30	2.45	2.30	2.30	2.39	2.47	2.45	2.29	2.36	2.38	2.45	2.37
Tiempo de Ensayo (min)	3.12	3.20	3.15	3.13	3.12	3.20	3.00	3.25	3.30	3.22	3.15	3.22	3.10	3.15	3.15	3.16
Velocidad (Mpa/seg)	0.72	0.72	0.78	0.76	0.74	0.76	0.77	0.71	0.72	0.77	0.78	0.71	0.76	0.75	0.78	0.75
Tipo de especimen	Prismático															

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 77: Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Ligero a los 14 días

Nomenclatura	BCL-T- 16	BCL-T-17	BCL-T-18	BCL-T-19	BCL-T-20	BCL-T-21	BCL-T-22	BCL-T-23	BCL-T-24	BCL-T-25	BCL-T-26	BCL-T-27	BCL-T-28	BCL-T-29	BCL-T-30	Promedio Resist. Flexo - Tracción
Edad de Ensayo	14 días															
Ancho (cm)	9.15	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18
Largo (cm)	39.10	39.15	39.17	39.23	39.15	39.19	39.15	39.15	39.19	39.16	39.17	39.16	39.17	39.15	39.19	39.17
Altura (cm)	19.10	19.20	19.16	19.10	19.20	19.20	19.21	19.20	19.20	19.21	19.20	19.21	19.24	19.20	19.20	19.19
Peso (gr)	9786.88	9798.57	9879.43	9809.18	9609.18	9993.50	9786.88	9891.08	9808.07	9679.43	9909.09	9609.18	9993.50	9786.88	10018.69	9823.97
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m3)	1469.87	1475.36	1489.45	1469.87	1475.54	1387.45	1410.08	1487.89	1475.54	1432.56	1469.87	1475.36	1489.45	1507.41	1590.58	1473.75
Longitud de tramo de ensayo (cm)	34.10	34.20	34.15	34.20	34.15	34.15	34.20	34.15	34.20	34.10	34.08	34.10	34.09	34.19	34.15	34.15
Carga Máxima de rotura (Kg)	2050.00	2000.00	2040.00	2050.00	2030.00	2010.00	2050.00	2000.00	2050.00	2030.00	2040.00	2050.00	2000.00	2050.00	2050.00	2033.33
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm2)	31.41	30.32	31.01	31.40	30.73	30.43	31.04	30.27	31.08	30.65	30.82	30.95	30.10	31.07	31.03	30.82
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	3.08	2.97	3.04	3.08	3.01	2.98	3.04	2.97	3.05	3.00	3.02	3.03	2.95	3.05	3.04	3.02
Tiempo de Ensayo (min)	3.45	3.54	3.50	3.66	3.80	3.55	3.46	3.78	3.85	3.65	3.46	3.56	3.55	3.95	3.65	3.63
Velocidad (Mpa/seg)	0.89	0.84	0.87	0.84	0.79	0.84	0.88	0.79	0.79	0.82	0.87	0.85	0.83	0.77	0.83	0.83
Tipo de espécimen	Prismático															

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 78: Resultados de ensayos a tracción por flexión en bloques de Concreto Ligero a los 28 días

Nomenclatura	BCL-T- 31	BCL-T-32	BCL-T-33	BCL-T-34	BCL-T-35	BCL-T-36	BCL-T-37	BCL-T-38	BCL-T-39	BCL-T-40	BCL-T-41	BCL-T-42	BCL-T-43	BCL-T-44	BCL-T-45	Promedio Resist. Flexo - Tracción
Edad de Ensayo	28 días															
Ancho (cm)	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18	9.10	9.17
Largo (cm)	39.15	39.17	39.23	39.17	39.15	39.19	39.19	39.16	39.17	39.17	39.15	39.19	39.16	39.17	39.15	39.17
Altura (cm)	19.20	19.16	19.10	19.24	19.20	19.20	19.20	19.21	19.20	19.24	19.20	19.20	19.21	19.20	19.20	19.20
Peso (gr)	9886.56	9891.08	9808.07	9679.43	9609.18	9993.50	9786.88	9798.57	9879.43	9809.18	9909.09	9908.46	10030.09	10020.89	10018.89	9868.62
Peso Unitario en estado endurecido (kg/m3)	1398.45	1487.89	1475.54	1469.87	1475.54	1489.45	1398.45	1487.89	1432.56	1432.56	1469.87	1475.36	1489.45	1505.41	1570.58	1470.59
Longitud de tramo de ensayo (cm)	34.10	34.20	34.15	34.20	34.15	34.15	34.20	34.15	34.20	34.10	34.08	34.10	34.09	34.19	34.15	34.15
Carga Máxima de rotura (Kg)	2100.00	2150.00	2100.00	2115.00	2140.00	2130.00	2100.00	2150.00	2120.00	2110.00	2000.00	2100.00	2100.00	2150.00	2150.00	2114.33
Resistencia a la flexión máxima (kg/cm2)	31.74	32.73	32.12	31.93	32.39	32.24	31.83	32.51	32.14	31.76	30.21	31.74	31.70	32.58	32.83	32.03
Resistencia a la flexión máxima (MPa)	3.11	3.21	3.15	3.13	3.18	3.16	3.12	3.19	3.15	3.11	2.96	3.11	3.11	3.19	3.22	3.14
Tiempo de Ensayo (min)	4.36	4.45	4.50	4.56	4.80	4.55	4.46	4.78	4.85	4.65	4.46	4.56	4.25	4.35	4.57	4.54
Velocidad (Mpa/seg)	0.71	0.72	0.70	0.69	0.66	0.69	0.70	0.67	0.65	0.67	0.66	0.68	0.73	0.73	0.70	0.69
Tipo de espécimen	Prismático															

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 79: Módulos de elasticidad de bloques de Concreto Ligero a los 07, 14 y 28 días

Densidad Aparente	Código de Especimen	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) 7 días	Prom. Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) 7 días	Densidad Aparente	Código de Especimen	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) 14 días	Prom. Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) 14 días
1600 kg/m ³	ECL 1600-1	48757.97	48420.53	1600 kg/m ³	ECL 1600-1	63595.77	64264.80
	ECL 1600-2	49092.34			ECL 1600-2	63542.68	
	ECL 1600-3	48586.62			ECL 1600-3	63534.57	
	ECL 1600-4	48605.22			ECL 1600-4	63638.64	
	ECL 1600-5	49092.34			ECL 1600-5	63687.06	
	ECL 1600-6	49098.61			ECL 1600-6	63895.61	
	ECL 1600-7	48787.88			ECL 1600-7	64117.55	
	ECL 1600-8	47545.60			ECL 1600-8	64276.97	
	ECL 1600-9	46798.43			ECL 1600-9	64373.90	
	ECL 1600-10	47670.72			ECL 1600-10	64987.81	
	ECL 1600-11	49123.71			ECL 1600-11	64373.90	
	ECL 1600-12	48605.22			ECL 1600-12	64793.73	
	ECL 1600-13	49092.34			ECL 1600-13	65045.87	
	ECL 1600-14	48664.47			ECL 1600-14	64888.85	
	ECL 1600-15	46786.48			ECL 1600-15	65219.08	

Densidad Aparente	Código de Especimen	Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) 28 días	Prom. Módulo de Elasticidad (kg/cm ²) 28 días
1600 kg/m ³	ECL 1600-1	67317.48	69601.40
	ECL 1600-2	68804.38	
	ECL 1600-3	69369.10	
	ECL 1600-4	69205.25	
	ECL 1600-5	69369.10	
	ECL 1600-6	69888.14	
	ECL 1600-7	69660.31	
	ECL 1600-8	69514.89	
	ECL 1600-9	69523.77	
	ECL 1600-10	69351.39	
	ECL 1600-11	69832.08	
	ECL 1600-12	70341.76	
	ECL 1600-13	70435.66	
	ECL 1600-14	70730.89	
	ECL 1600-15	70676.78	

Fuente: Elaboración propia (2016)

Tabla n° 80: Resultados de ensayos de absorción y peso específico en bloques de Concreto Ligero

Densidad Aparente	Codigo de Especimen	Ws	Wi	Wd	Absorcion (%)		Peso Especifico (kg/m ³)	Prom. Peso Especifico (kg/m ³)
					%	Kg/m ³		
1600 kg/m ³	BCL 1600-1	12.075	5.195	11.22	7.62	124.27	1630.81	1624.36
	BCL 1600-2	12.076	5.192	11.26	7.25	118.54	1635.68	
	BCL 1600-3	12.083	5.188	11.12	8.66	139.67	1612.76	
	BCL 1600-4	12.082	5.191	11.11	8.75	141.05	1612.25	
	BCL 1600-5	12.086	5.189	11.17	8.20	132.81	1619.54	
	BCL 1600-6	12.081	5.15	11.26	7.29	118.45	1624.59	
	BCL 1600-7	12.056	5.163	11.26	7.07	115.48	1633.54	
	BCL 1600-8	12.076	5.132	11.24	7.44	120.39	1618.66	
	BCL 1600-9	12.056	5.198	11.33	6.41	105.86	1652.09	
	BCL 1600-10	12.036	5.108	11.11	8.33	133.66	1603.64	

Fuente: Elaboración propia (2016)

7.5.ANEXO VI: CURVAS REPRESENTATIVAS DE ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA ESPECIMENES CUBICOS

DENSIDAD APARENTE 1200 [kg/m³]

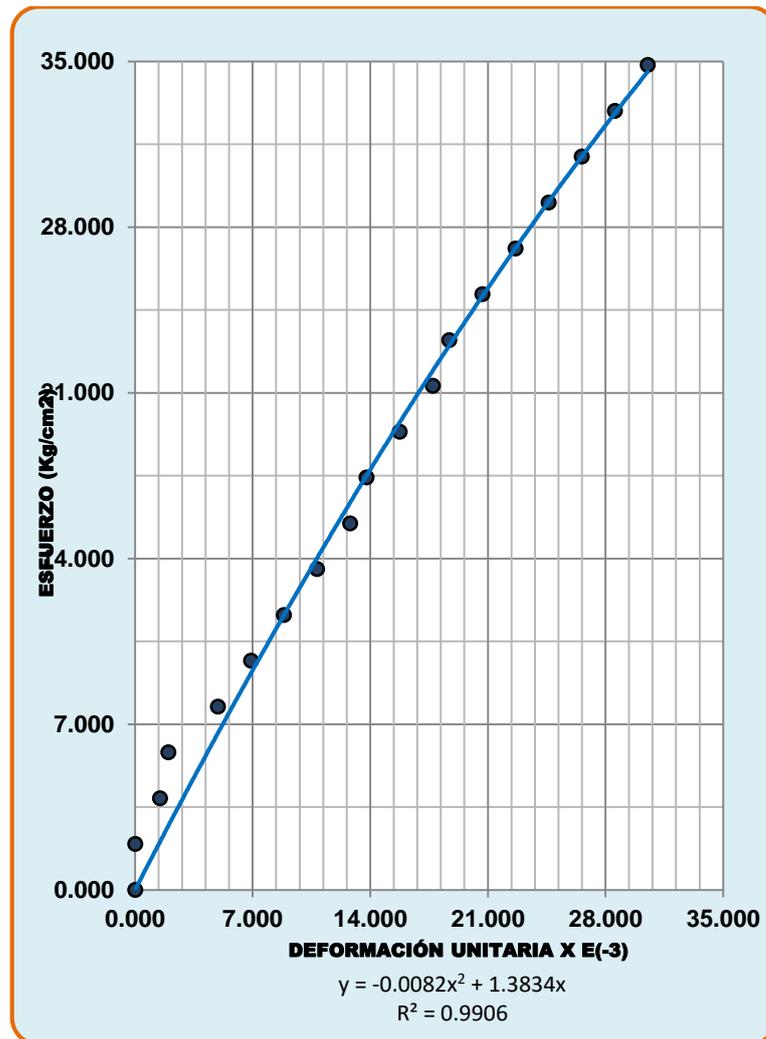
Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Area (cm ²)
CCL-1200-12	10.17	10.16	10.16	1209.09	103.33

Tabla n° 81: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen (Da= 1200 kg/m³)

PRUEBA DEL ESPECIMEN A LA COMPRESIÓN			
CARGA (Kg)	DEFOR. ESC. mm	DEFOR. UNIT. x E(-3)	ESFUERZO Kg/cm ²
0	0.000	0.000	0.000
200	0.000	0.000	1.936
400	0.015	1.476	3.871
600	0.020	1.969	5.807
800	0.050	4.921	7.742
1000	0.070	6.890	9.678
1200	0.090	8.858	11.614
1400	0.110	10.827	13.549
1600	0.130	12.795	15.485
1800	0.140	13.780	17.420
2000	0.160	15.748	19.356
2200	0.180	17.717	21.292
2400	0.190	18.701	23.227
2600	0.210	20.669	25.163
2800	0.230	22.638	27.098
3000	0.250	24.606	29.034
3200	0.270	26.575	30.970
3400	0.290	28.543	32.905
3600	0.310	30.512	34.841

Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 16: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen (Da= 1200 kg/m3)



CÁLCULO DEL ESFUERZO DE ROTURA	
Ecuación corregida	Esf == -0.0082x2 + 1.3834x
Coef. de Correlación	R ² = 0.9906
Esf. De Rotura	28702.00 Kg/cm2

Fuente: Elaboración propia (2016)

DENSIDAD APARENTE 1400 [kg/m3]

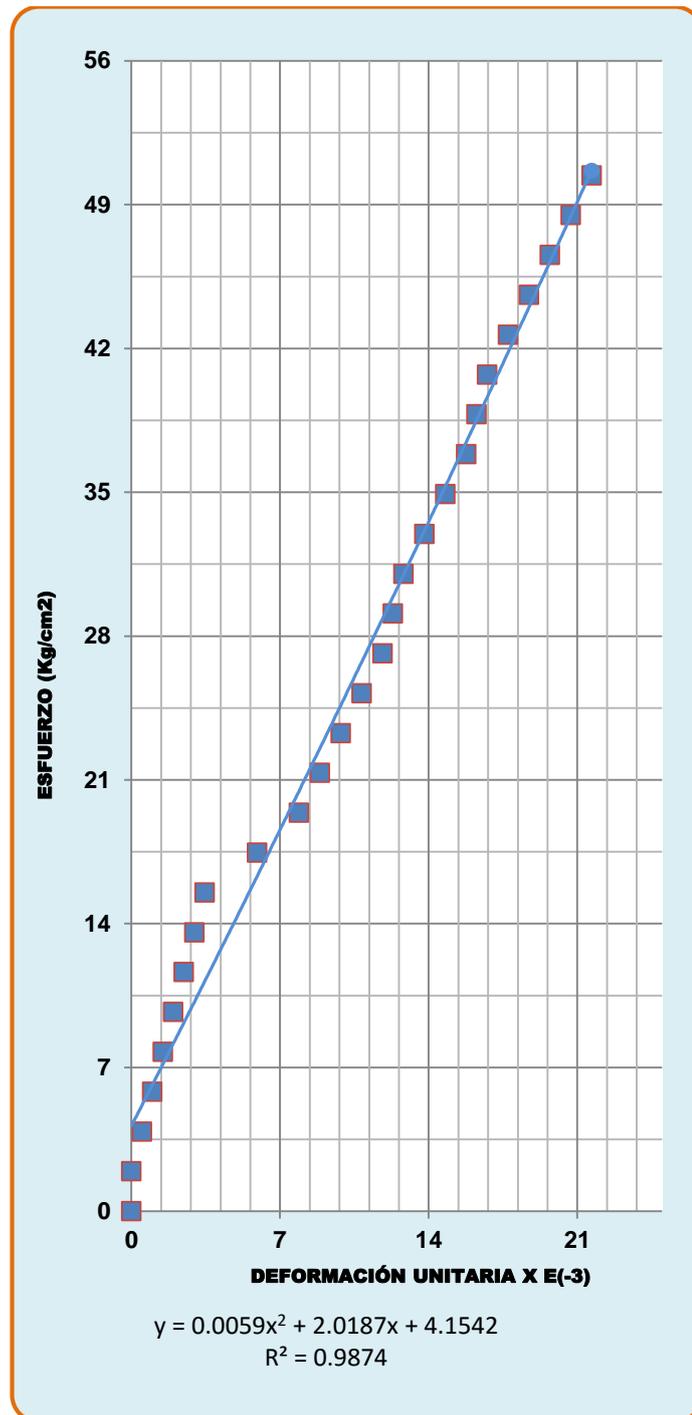
Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Area (cm2)
CL-1400-22	10.15	10.16	10.15	1504.23	103.124

Tabla n° 82: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen ($D_a = 1400 \text{ kg/m}^3$)

PRUEBA DEL ESPECIMEN A LA COMPRESIÓN			
CARGA (Kg)	DEFOR. ESC. mm	DEFOR. UNIT. x E(-3)	ESFUERZO Kg/cm²
0	0.000	0.000	0.000
200	0.000	0.000	1.939
400	0.005	0.493	3.879
600	0.010	0.985	5.818
800	0.015	1.478	7.758
1000	0.020	1.970	9.697
1200	0.025	2.463	11.636
1400	0.030	2.956	13.576
1600	0.035	3.448	15.515
1800	0.060	5.911	17.455
2000	0.080	7.882	19.394
2200	0.090	8.867	21.334
2400	0.100	9.852	23.273
2600	0.110	10.837	25.212
2800	0.120	11.823	27.152
3000	0.125	12.315	29.091
3200	0.130	12.808	31.031
3400	0.140	13.793	32.970
3600	0.150	14.778	34.909
3800	0.160	15.764	36.849
4000	0.165	16.256	38.788
4200	0.170	16.749	40.728
4400	0.180	17.734	42.667
4600	0.190	18.719	44.606
4800	0.200	19.704	46.546
5000	0.210	20.690	48.485
5200	0.220	21.675	50.425

Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 17: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen (Da= 1400 kg/m3)



CÁLCULO DEL ESFUERZO DE ROTURA	
Ecuación corregida	Esf = 0.0059x ² + 2.0187x + 4.1542
Coef. de Correlación	R ² = 0.9874
Esf. De Rotura	1983.15 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia (2016)

DENSIDAD APARENTE 1600 [kg/m³]

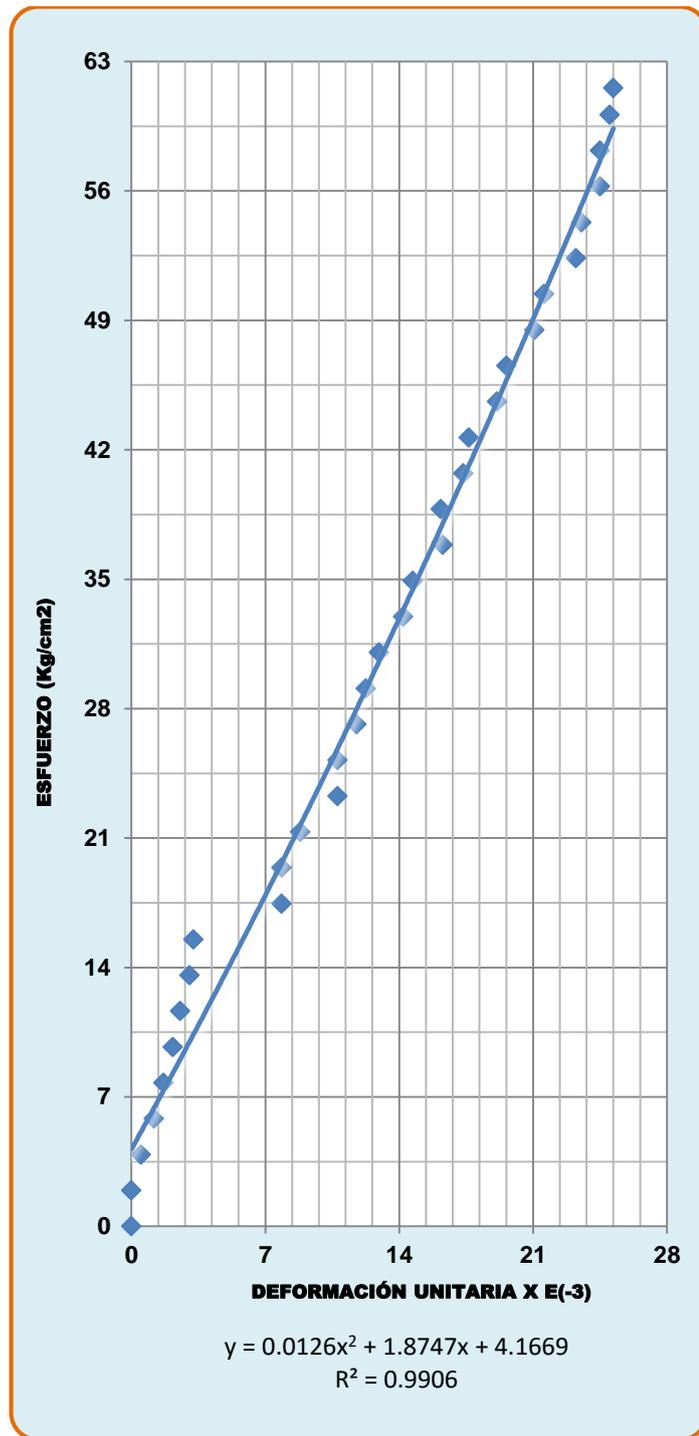
Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Area (cm ²)
CL-1600-30	10.2	10.19	10.2	1723.5	103.938

Tabla n° 83: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen (Da= 1600 kg/m³)

PRUEBA DEL ESPECIMEN A LA COMPRESIÓN			
CARGA (Kg)	DEFOR. ESC. mm	DEFOR. UNIT. x E(-3)	ESFUERZO Kg/cm²
0	0.000	0.000	0.000
200	0.000	0.000	1.939
400	0.005	0.490	3.879
600	0.012	1.176	5.818
800	0.017	1.667	7.758
1000	0.022	2.157	9.697
1200	0.026	2.549	11.636
1400	0.031	3.039	13.576
1600	0.033	3.235	15.515
1800	0.080	7.843	17.455
2000	0.080	7.843	19.394
2200	0.090	8.824	21.334
2400	0.110	10.784	23.273
2600	0.110	10.784	25.212
2800	0.120	11.765	27.152
3000	0.125	12.255	29.091
3200	0.132	12.941	31.031
3400	0.145	14.216	32.970
3600	0.150	14.706	34.909
3800	0.166	16.275	36.849
4000	0.165	16.176	38.788
4200	0.177	17.353	40.728
4400	0.180	17.647	42.667
4600	0.195	19.118	44.606
4800	0.200	19.608	46.546
5000	0.215	21.078	48.485
5200	0.220	21.569	50.425
5400	0.237	23.235	52.364
5600	0.240	23.529	54.304
5800	0.250	24.510	56.243
6000	0.250	24.510	58.182
6200	0.255	25.000	60.122
6400	0.257	25.196	61.575

Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 18: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen (Da= 1600 kg/m3)



CÁLCULO DEL ESFUERZO DE ROTURA	
Ecuación corregida	Esf = 0.0126x ² + 1.8747x + 4.1669
Coef. de Correlación	R ² = 0.9906
Esf. De Rotura	16240.31 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia (2016)

7.6. ANEXO VII: CURVA REPRESENTATIVA DE ESFUERZO VS DEFORMACION UNITARIA – BLOQUES DE CONCRETO LIGERO

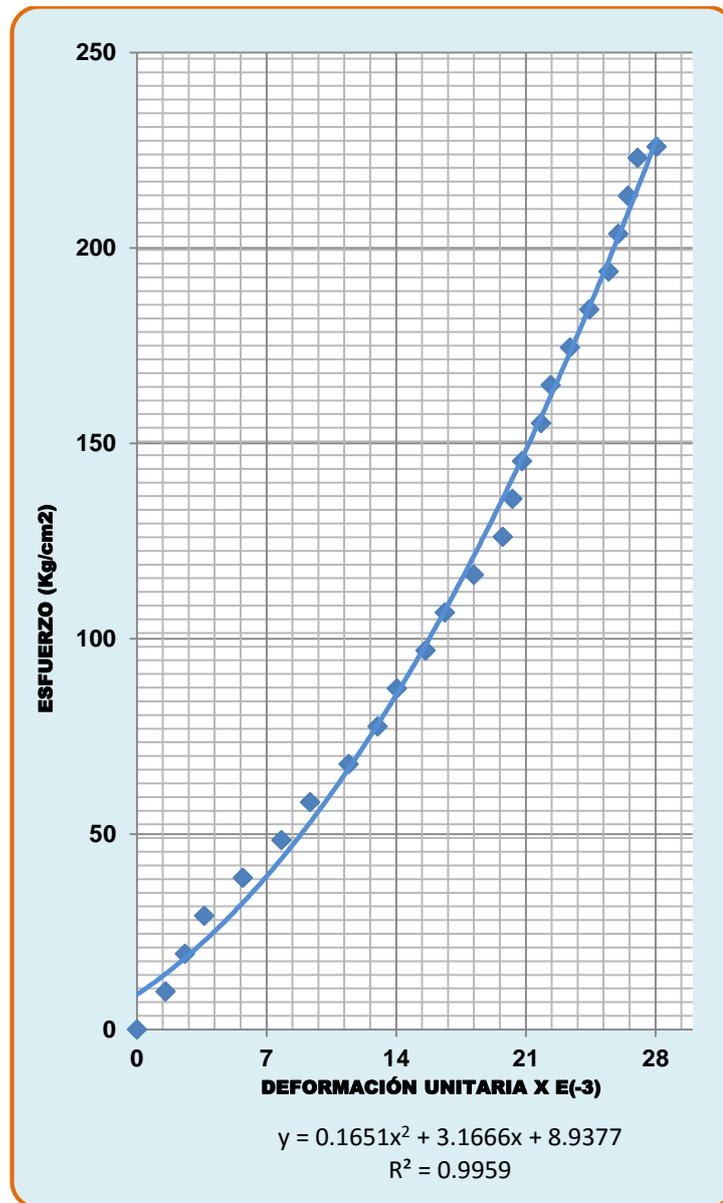
Muestra	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Peso (gr)	Area (cm ²)
BCL-1600-45	9.18	39.17	19.24	9998.89	359.5806

Tabla n° 84: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen (Da= 1600 kg/m³)

PRUEBA DEL ESPECIMEN A LA COMPRESIÓN			
CARGA (Kg)	DEFOR. ESC. mm	DEFOR. UNIT. x E(-3)	ESFUERZO Kg/cm ²
0	0.000	0.000	0.000
1000	0.030	1.559	9.697
2000	0.050	2.599	19.394
3000	0.070	3.638	29.091
4000	0.110	5.717	38.788
5000	0.150	7.796	48.485
6000	0.180	9.356	58.182
7000	0.220	11.435	67.879
8000	0.250	12.994	77.577
9000	0.270	14.033	87.274
10000	0.300	15.593	96.971
11000	0.320	16.632	106.668
12000	0.350	18.191	116.365
13000	0.380	19.751	126.062
14000	0.390	20.270	135.759
15000	0.400	20.790	145.456
16000	0.420	21.830	155.153
17000	0.430	22.349	164.850
18000	0.450	23.389	174.547
19000	0.470	24.428	184.244
20000	0.490	25.468	193.941
21000	0.500	25.988	203.638
22000	0.510	26.507	213.335
23000	0.520	27.027	223.032
23300	0.540	28.067	225.942

Fuente: Elaboración propia (2016)

Gráfico n° 19: Esfuerzo vs deformación unitaria del espécimen (Da= 1600 kg/m3)



CÁLCULO DEL ESFUERZO DE ROTURA	
Ecuación corregida	Esf = 0.1651x ² + 3.1666x + 8.9377
Coef. de Correlación	R ² = 0.9959
Esf. De Rotura	5618.45 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia (2016)

7.7.ANEXO VII: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO UTILIZADO



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 606 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 0000



SGC-REG-08-G0002
Versión 01

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.008 / ASTM C150

Pacasmayo, 20 de Julio del 2018

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CP8AA	Requisito NTP 334.008 / ASTM C150
MgO	%	2.2	Máximo 8.0
SO3	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.73	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CP8AA	Requisito NTP 334.008 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.10	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3770	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	31.7 (323)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	38.5 (392)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	46.5 (474)	Mínimo 28.0 (Mínimo 288)

Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	132	Mínimo 45
Fraguado Final	min	289	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016

(*) Requisito opcional.

Ing. Ivanoff V. Rojas Tello
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

7.8. ANEXO VIII: FICHA TÉCNICA DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO UTILIZADO

Producto

POLIESTIRENO EXPANDIDO:





Es una espuma rígida suministrada en forma de planchas, de color blanco, de dimensiones volumétricas estables y constituido por un termoplástico celular compacto. Es elaborado en base a derivados del petróleo, en diferentes densidades según la aplicación y compatible con el medio ambiente.

Dentro de su estructura, este material posee un sinnúmero de celdas cerradas en forma de esferas envolventes que mantienen oculto con aire quieto su espacio interior. Estas esferas solidariamente apoyadas en sus tangentes e íntimamente soldadas y próximas entre sí, conforman una masa liviana por el volumen de aire encerrado, dando origen a su gran capacidad de aislamiento térmico (98% de aire y 2% de material sólido). Esta capacidad de aislamiento térmico está medida y representada, como propiedad física, por su bajo coeficiente de conductividad térmica.

La estructura celular cerrada del poliestireno expandido permite que no sea higroscópico y tenga una gran estanqueidad, lo que limita la absorción de agua al mínimo aún en estado sumergido y prácticamente sin tránsito de agua líquida por capilaridad. Esta característica hace que el poliestireno expandido mantenga inalterable su capacidad de aislamiento térmico y a la vez tenga una elevada resistencia a la difusión de vapor de agua, disminuyendo el daño por condensaciones de vapor de agua al interior del material. Es definido como un material permeable a los gases, pero prácticamente impermeable al agua.

A pesar del bajo peso del Poliestireno Expandido, destaca sus propiedades físico-mecánicas. Tiene una adecuada resistencia a la compresión, corte, flexión, tracción y también una buena elasticidad.

El Poliestireno Expandido usado en la construcción, preferentemente debe contener ignífago que lo transforme en autoextinguible (no propagador de llama). Frente a un fuego expuesto, la carga combustible es despreciable en relación a la mayoría de los materiales componentes de una edificación.

Dentro de otras características se encuentra su estabilidad dimensional en el tiempo, su higiene, su resistencia al envejecimiento, su resistencia a hongos, parásitos y bacterias de putrefacción. No es alimento de roedores,

Caricaci 3551 - Quinta Normal
Santiago
Tel.: (56 2) 6437000
Web: www.basf.cl
E-mail: aty@por-cl@basf.com



El de insectos. Posee un amplio espectro de aplicación térmico de temperatura. Además, es flexible para trabajar, inodoro, de fácil manipulación, es reciclable, no tóxico y no contiene compuestos como clorofluoro-carbonados y no daña la capa de ozono. Al no ser un producto biodegradable, mantiene su inalterabilidad en el tiempo, lo que le permite una larga vida útil.

VENTAJAS DEL EPS - PERFIL DE USO

○ MEDIO AMBIENTE:	Material inerte, inocuo, durable, 100% reciclable, no daña la capa de Ozono, autoextinguible y compatible con el medio ambiente.
○ IMPERMEABILIDAD:	No absorbe ni acumula agua, no altera su conductividad térmica, mantiene su capacidad de ablación térmica en el tiempo.
○ COMPORTAMIENTO AL FUEGO:	Auto extingible (no propaga llama); contiene agente ignífago - Carga combustible despreciable.
○ TÉRMICA:	Alta resistencia térmica por su bajo coeficiente de conductividad térmica.
○ ACÚSTICA:	Buen absorbente al ruido de impacto.
○ DIMENSIONAMIENTO Y TRABAJABILIDAD:	Espesores y medidas según los requerimientos del usuario - No requiere protección especial para su manipulación.
○ ESTABILIDAD DIMENSIONAL:	No se deforma con el paso del tiempo.
○ DURABILIDAD:	Impugnurable e insensible al ataque de hongos y microorganismos.

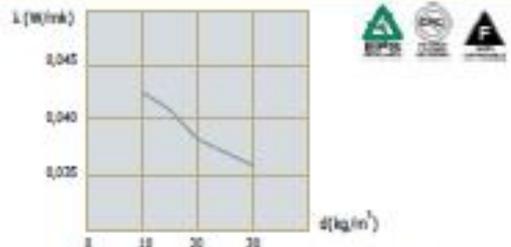




Especificaciones técnicas

Conductividad térmica en función de la densidad(*)

λ (W/mk)	d (kg/m ³)
0,0430	10
0,0413	15
0,0384	20
0,0373	25
0,0361	30



(*) Con acuerdo a la NCh 853 vigente: (Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencia y transmitancia térmica)

1. La densidad mínima de fabricación del Poliestireno Expandido es de 10kg/m³.
2. El Poliestireno Expandido se fabrica con acuerdo a la Norma Chilena vigente, NCh 1070 - (Poliestireno Expandido / Requibol).

7.9. ANEXO IX: PANEL FOTOGRAFICO

Figura n° 47: Selección de agregado fino para ensayos.



Fuente: Elaboración propia (2016)

Figura n° 48: Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino



Fuente: Elaboración propia (2016)

Figura n° 49: Ensayo de densidad relativa del agregado fino



Fuente: Elaboración propia (2016)

Figura n° 50: Colocación al horno del poliestireno expandido para alcanzar la densidad deseada



Fuente: Elaboración propia (2016)

Figura n° 51: Elaboración de concreto ligero a base de poliestireno expandido



Fuente: Elaboración propia (2016)

Figura n° 52: Ensayo de fluidez del Concreto Celular



Fuente: Elaboración propia (2016)

Figura n° 53: Vaciado de Concreto Ligero en los moldes metálicos



Fuente: Elaboración propia (2016)

Figura n° 54: Almacenamiento y curado de especímenes de concreto celular



Fuente: Elaboración propia (2016)

Figura n° 55: Ensayo de compresión de especímenes cúbicos de concreto Ligero



Figura n° 56: Ensayo de compresión en bloques de Concreto Ligero





Fuente: Elaboración propia (2016)

Figura n° 57: Ensayo de tracción por flexión en bloques de Concreto Ligero



Fuente: Elaboración propia (2016)