

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“EVALUACIÓN DE LA ILUMINACIÓN HÍBRIDA MEDIANTE
EL EMPLEO DE PANELES DE CONCRETO LIVIANO
TRASLÚCIDO COMO TABIQUERÍA”**

Presentada por:

GUSTAVO EDUARDO ANDRÉS RODRÍGUEZ SILVA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima - Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“EVALUACIÓN DE LA ILUMINACIÓN HÍBRIDA MEDIANTE
EL EMPLEO DE PANELES DE CONCRETO LIVIANO
TRASLÚCIDO COMO TABIQUERÍA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

GUSTAVO EDUARDO ANDRES RODRIGUEZ SILVA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Alfonso Cerna Vásquez
PRESIDENTE

M.S. Víctor Linares Zaferson
PATROCINADOR

Mg.Sc. Rosa Miglio Toledo
MIEMBRO

Lic. reg.rer.Víctor Aguilar Vidangos
MIEMBRO

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a quien en vida fue mi abuelo, Don Augusto S. Rodríguez Vílchez. En el reino de los Cielos, donde te encuentras, sé que recibes este triunfo con satisfacción y felicidad. A mis padres, Gustavo y Anita que sin su valiosa ayuda, amor, confianza y apoyo no sería nadie en estos momentos. Y a Mary, mi amada y fiel compañera, quien me motivó a llevar a buen puerto este gran logro.

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer a todos los que me ayudaron a la realización de esta investigación. A mis profesores y colegas, que siempre estuvieron prestos a darme una mano y de quienes sus consejos se ven plasmados en estas líneas.

Quisiera reconocer especialmente la colaboración del Ingeniero Carlos Bravo Aguilar. Un gran profesional, maestro y amigo de quien sin su valioso apoyo intelectual no se hubiera podido llevar a cabo esta tesis.

No quisiera olvidar a mis alumnos: Mónica, Ivana, Luis, Franco, “Yisus”, David, Arturo y Anderson quienes me ayudaron en los ensayos de laboratorio. Todos ellos aportaron con ganas de aprender, colaborar y por sobretodo, sus ganas de ser futuros profesionales.

Finalmente, incluyo a la UNALM, mi alma mater y centro de labres a la cual le debo toda mi vida profesional.

A todos ellos, mi eterna gratitud.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION	1
II.	REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1	Concreto	3
2.2	Concreto liviano	5
2.3	Concreto con Agregado de Poliestireno (CAP)	7
2.3.1	Poliestireno expandido (EPS)	8
2.4	Fibra óptica usada en la iluminación.....	11
2.4.1	Fibra óptica de plástico (FOP)	12
2.4.2	Fibra óptica tipo SI - POF (Step Index Fiber).....	14
2.4.3	Iluminación a base de fibra óptica	15
2.5	Tecnología del concreto traslúcido	15
2.6	Conclusiones sobre el concreto traslúcido	16
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1	Metodología de la investigación	18
3.1.1	Ubicación geográfica de los trabajos de investigación	18
3.1.2	Fecha de la investigación	18
3.1.3	Materiales y equipos a utilizar	18
3.1.4	Laboratorio de ensayo y prueba de materiales de la UNALM.....	19
3.1.5	Planificación de la investigación.....	20
3.1.6	Determinación de la población y muestra.....	20
3.1.7	Ensayos de concreto liviano.....	21
3.1.8	Ensayos mecánicos en laboratorio	30
3.1.9	Ensayos de paso de luz en laboratorio	33
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	34
4.1	Caracterización del concreto liviano.....	34
4.1.1	Resistencia a la compresión axial	34
4.1.2	Peso específico del concreto liviano	35
4.1.3	Resistencia a la compresión diagonal	36
4.1.4	Pruebas de luz en testigos traslúcidos	36
4.1.5	Pruebas con probetas de 1 por ciento de contenido de FOP	36
4.1.6	Pruebas con probetas de 2 por ciento de contenido de FOP	38
4.1.7	Pruebas con probetas de 3% de contenido de FOP	39

4.2	Interpretación de resultados	40
V.	CONCLUSIONES	42
VI.	RECOMENDACIONES	43
VII.	BIBLIOGRAFÍA	45
VIII.	ANEXOS	50
8.1	ANEXO 1: Resultados del análisis granulométrico de agregados.....	50
8.2	ANEXO 2. Peso específico y porcentaje de absorción de agregados.....	56
8.3	ANEXO 3. Determinación del peso volumétrico- de agregados.....	57
8.4	ANEXO 4. Determinación del contenido de humedad.....	58
8.5	ANEXO 5. Diseño de mezcla de concreto método ACI 211.1	58
8.6	ANEXO 6. Evaluación de probetas cilíndricas de concreto liviano.....	65
8.7	ANEXO 7. Peso específico del concreto liviano.....	69
8.8	ANEXO 8. Ensayo de compresión diagonal en concreto liviano	70
8.9	ANEXO 9. Resultados de los ensayos de traslucidez.....	71
8.10	ANEXO 10. Resultados de los ensayos a la compresión en testigos con fibra	77
8.11	ANEXO 11: Ficha técnica del cemento utilizado.....	79
8.12	ANEXO 12: Ficha técnica del EPS utilizado.....	81
8.13	ANEXO 13: Ficha técnica de la fibra óptica plástica usada.....	82
8.14	ANEXO 14: Ficha técnica de luxómetro usado.....	84
8.15	ANEXO 15: Ficha técnica de fuente de luz usada.....	85
8.16	ANEXO 16. Resultados de análisis de agua para concreto.....	86
8.17	ANEXO 17. Panel fotográfico.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de la fibra óptica de serie A4.	14
Tabla 2: Comparativo entre tipos de concreto traslúcido.	17
Tabla 3: Cuadro de ventajas y desventajas del concreto traslúcido.	17
Tabla 4: Alcances de las pruebas realizada según NTP	22
Tabla 5: Porcentaje en volumen de fibras añadidas a los testigos.	24
Tabla 6: Datos estadísticos en probetas de 1% de FOP.....	37
Tabla 7: Datos estadísticos en probetas de 2% de FOP.....	38
Tabla 8: Datos estadísticos en probetas de 3% de FOP.....	39
Tabla 9: Valores promedio de paso de luz	40
Tabla 10: Resistencia en función al contenido de fibra.....	41
Tabla 11: Granulometría para muestra 1 de agregado fino	50
Tabla 12: Curva granulométrica de muestra 2 de agregado fino.....	51
Tabla 13: Granulometría para muestra 3 de agregado fino	52
Tabla 14: Granulometría muestra 1 de agregado grueso.....	53
Tabla 15: Granulometría muestra 2 de agregado grueso.....	54
Tabla 16: Granulometría muestra 3 de agregado grueso.....	55
Tabla 17: Resultados de los ensayos para agregado fino muestra 1.....	56
Tabla 18: Resultados de los ensayos para agregado grueso muestra 1	56
Tabla 19: Resultados de los ensayos para agregado fino muestra 2.....	56
Tabla 20: Resultados de los ensayos para agregado grueso muestra 2	56
Tabla 21: Resultados de los ensayos para agregado fino de muestra 3.....	56
Tabla 22: Resultados de los ensayos para agregado grueso muestra 3	57
Tabla 23: Resultados para peso específico y absorción para agregado fino	57
Tabla 24: Resultados para peso específico y absorción para agregado grueso	57
Tabla 25: Resultados para peso volumétrico para muestras de agregado fino.....	57
Tabla 26: Resultados para peso volumétrico para muestras de agregado grueso.....	57
Tabla 27: Resultados de Porcentaje de humedad para agregado fino	58
Tabla 28: Caracterización de los agregados	58
Tabla 29: Probetas al 0% de poliestireno añadido.....	65
Tabla 30: Probetas al 40% de poliestireno añadido.....	66
Tabla 31: Probetas al 60% de poliestireno añadido.....	67
Tabla 32: Probetas al 100% de poliestireno añadido.....	68

Tabla 33: Peso específico según variación de agregado grueso en kg/m^3	69
Tabla 34: Resultados de ensayo de compresión diagonal	70
Tabla 35: Resultados de traslucidez en probetas con 1% de contenido de FOP	71
Tabla 36: Distribución normal para probetas al 1% de FOP.....	72
Tabla 37: Resultados de traslucidez en probetas con 2% de contenido de FOP	73
Tabla 38: Distribución normal para probetas al 2% de FOP.....	74
Tabla 39: Resultados de traslucidez en probetas con 3% de contenido de FOP	75
Tabla 40: Distribución normal para probetas al 3% de FOP.....	76
Tabla 41:Ensayos de compresión en testigos con 1% de fibra óptica.....	77
Tabla 42:Ensayos de compresión en testigos con 2% de fibra óptica.....	77
Tabla 43: Ensayos de compresión en testigos con 3% de fibra óptica.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pavimentación con concreto en la vía expresa de Lima (1966).....	4
Figura 2: Camión con concreto Thornycroft, type 2 “Bison”.	5
Figura 3: Proporciones de perlas de poliestireno propuestas por el IMCYC.	8
Figura 4: Perlas Poliestireno expandido en bloque.	8
Figura 5: Estructura química del poliestireno.	9
Figura 6: Tránsito de la luz a través de la fibra óptica.	12
Figura 7: Estructura interna de fibra óptica plástica.	13
Figura 8: Refracción de la luz interna en fibras tipo SI.	14
Figura 9: Medición de 500 ml de perlas de EPS para verificación de densidad	25
Figura 10: Distribución de insumos en volumen.....	26
Figura 11: Proporciones de esferas de poliestireno en el CAP	26
Figura 12: Variación de las proporciones según mezcla	27
Figura 13: Variación del volumen de perlas de EPS agregado por probeta	28
Figura 14: Testigo cúbico de concreto liviano	28
Figura 15: Encofrado y armado de bloques de CAP con fibra óptica	29
Figura 16: Embolsado y almacenado de probeta de concreto liviano.	30
Figura 17: Carga axial de compresión aplicada en testigo	31
Figura 18: Cálculo de la resistencia en unidades de fuerza sobre área.....	31
Figura 19: Carga P aplicada durante prueba de compresión diagonal	32
Figura 20: Prueba con luz artificial	33
Figura 21: Variación de la resistencia promedio según proporción de EPS agregado	34
Figura 22: Variación de la resistencia promedio de concreto a los 28 días.....	35
Figura 23: Variación del peso específico de acuerdo a la proporción de EPS agregado	35
Figura 24: Distribución normal (campana de Gauss) en bloques al 1% de FOP	37
Figura 25: Distribución normal (campana de Gauss) en bloques al 2 por ciento de FOP ..	38
Figura 26: Distribución normal (campana de Gauss) en bloques al 3 por ciento de FOP ..	39
Figura 27: Curva de disminución de resistencia.....	41
Figura 28: Curva granulométrica de muestra 1 de agregado fino	50
Figura 29: Curva granulométrica de muestra 2 de agregado fino	51
Figura 30: Curva granulométrica de muestra 3 de agregado fino	52
Figura 31: Curva granulométrica muestra 1 de agregado grueso.....	53
Figura 32: Curva granulométrica muestra 2 de agregado grueso.....	54

Figura 33: Curva granulométrica muestra 3 de agregado grueso	55
Figura 34: Tabla para agua de mezclado y contenido de aire	59
Figura 35: Correspondencia entre la relación agua / cemento.....	60
Figura 36: Volumen de agregado grueso (m ³).....	60
Figura 37: Distribución de mediciones en bloques al 1% de FOP	72
Figura 38: Distribución de mediciones en bloques al 2% de FOP	74
Figura 39: Distribución de mediciones en bloques al 3% de FOP	76
Figura 40: Compra de agregado fino proveniente de la Cantera Huaycán.....	88
Figura 41: Peso de la fiola con agua.....	88
Figura 42: Colocación de agregado grueso en la canastilla de metal	89
Figura 43: Muestras (3) de agregado grueso a ensayar	89
Figura 44: Tamizado de perlas de poliestireno.....	90
Figura 45: Materiales medidos antes de mezcla.....	90
Figura 46: Mezcla seca de materiales.....	91
Figura 47: Medición de slump de mezcla húmeda	91
Figura 48: Vertido de perlas en mezcla al 100% de EPS añadido	92
Figura 49: Vertido de concreto liviano de mezcla homogénea	92
Figura 50: Slump de 5 pulgadas para concreto al 100% de EPS añadido.....	93
Figura 51: Probetas cilíndricas etiquetadas para su posterior curado.....	93
Figura 52: Colocación de testigo en prensa hidráulica para prueba de compresión.....	94
Figura 53: Aplicación de esfuerzo axial a probeta en prensa hidráulica	94
Figura 54: Probeta de 60% de EPS añadido ensayada	95
Figura 55: Testigos de concreto liviano sacado ya ensayados	95
Figura 56: Pesado de fibra óptica plástica de 0.75mm.....	96
Figura 57: Enderezado de fibra óptica plástica en agua a 80°C	96
Figura 58: Colocación horizontal de fibra óptica en llenado de probetas cúbicas	97
Figura 59: Encofrado y enlucido final de probetas con fibra óptica incorporada	97
Figura 60: Preparación del encofrado de paneles de concreto liviano	98
Figura 61: Panel de concreto liviano para prueba de compresión diagonal	98
Figura 62: Alineamiento lateral de testigo en ensayo de compresión diagonal	99
Figura 63: Alineamiento central de testigo en ensayo de compresión diagonal	99
Figura 64: Testigo 06 antes del ensayo	100
Figura 65: Falla por corte y aplastamiento en testigo 06.....	100
Figura 66: Prueba de traslucidez en probeta con 1% de fibra añadida.....	101

Figura 67: Prueba de traslucidez en probeta con 2% de fibra añadida.....	101
Figura 68: Prueba de traslucidez en probeta con 3% de fibra añadida.....	102
Figura 69: Prueba de compresión axial en probeta de 2% de contenido de fibra.....	102

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Resultados del análisis granulométrico agregados	50
ANEXO 2. Peso específico y porcentaje de absorción de agregados.	56
ANEXO 3. Determinación del peso volumétrico- de agregados.....	57
ANEXO 4. Determinación del contenido de humedad	58
ANEXO 5. Diseño de mezcla de concreto método ACI 211.1	58
ANEXO 6. Evaluación de probetas cilíndricas de concreto liviano.....	65
ANEXO 7. Peso específico del concreto liviano.....	69
ANEXO 8. Ensayo de compresión diagonal en concreto liviano.....	70
ANEXO 9. Resultados de los ensayos de traslucidez.	71
ANEXO 10. Resultados de los ensayos a la compresión en testigos con fibra.....	77
ANEXO 11: Ficha técnica del cemento utilizado.	79
ANEXO 12: Ficha técnica del EPS utilizado.	81
ANEXO 13: Ficha técnica de la fibra óptica plástica usada.....	82
ANEXO 14: Ficha técnica de luxómetro usado.	84
ANEXO 15: Ficha técnica de fuente de luz usada.	85
ANEXO 16. Resultados de análisis de agua para concreto.	86
ANEXO 17. Panel fotográfico.	88

RESUMEN

La investigación realizada, se basa en la propuesta del uso de elementos de construcción tal que, se relacionen de forma positiva con la naturaleza. La idea de edificaciones que interactúan con fuentes de energía naturales, se hace cada vez más importante ante la creciente necesidad energética poblacional. Es por ello que, el objetivo principal de esta investigación es evaluar el aporte de luz, en porcentaje y en unidades de luz mediante la iluminación híbrida a través de paneles de concreto traslúcido. Para dicho cometido, se determinó el uso del concreto liviano para alojar líneas de fibra óptica plástica. Estas fibras permitirán que la luz solar exterior pase a través del panel contribuyendo a la iluminación interior. La primera parte del estudio, se avocó en el diseño y análisis de las propiedades mecánicas del concreto liviano. Tomando como base un concreto de diseño normal se fue agregando perlas de espuma de poliestireno en diferentes dosificaciones hasta lograr la denominación de concreto liviano o ligero. La segunda parte abordó al ensayo de las capacidades de traslucidez, según diferentes contenidos de fibra óptica plástica añadida. Es importante anotar que, en ambos casos, la normativa relacionada a la caracterización de insumos y ensayo de testigos fueron primordiales para determinar la idoneidad del material a utilizar. Los resultados obtenidos fueron prometedores, ya que la mayor cantidad de luz pasante, se obtuvo en bloques de concreto liviano elaborados. En testigos de 3% de fibra óptica se obtuvo una traslucidez de 0.165% y 6.89 luxes de iluminación en promedio. Asimismo, se obtuvo una resistencia a la compresión aceptable de entre 69.49 kg/cm² y 53.21 kg/cm². Finalmente, es posible afirmar que este producto se relaciona con el medio ambiente en dos formas; permite el paso de luz natural y a la vez retiene al poliestireno en su estructura impidiendo que este llegue a los ecosistemas.

Palabras Clave: concreto; fibra óptica; iluminación; poliestireno.

ABSTRACT

The following research is based on the proposal of the use of construction elements and how they relate positively to nature. The concept of buildings that interact with natural energy sources is becoming increasingly important considering the growing population energy needs. That is why, the main objective of this research is to evaluate the contribution of light, in percentage and in units of light through hybrid lighting through translucent concrete panels. For this purpose, the use of lightweight concrete to accommodate plastic fiber optic lines was determined. These fibers will allow outside sunlight to pass through the panel contributing to interior lighting. The first part of the study, focused on the design and analysis of the mechanical properties of lightweight concrete. Based on a normal design concrete, polystyrene foam beads were added in different dosages until the name of light or light concrete was achieved. The second part addressed the test of translucency capabilities, according to different contents of plastic optical fiber added. It is important to note that, in both cases, the regulations related to the characterization of inputs and test of witnesses were essential to determine the suitability of the material to be used. The results obtained were promising, since the greatest amount of through light was obtained in elaborate lightweight concrete blocks. In testing witnesses of 3% of optical fiber a translucency of 0.165% and 6.89 luxes of illumination were obtained on average. Likewise, an acceptable compressive strength between 69.49 kg / cm² and 53.21 kg / cm² was obtained. Finally, it is possible to affirm that this product is related to the environment in two ways; allows the passage of natural light and at the same time retains polystyrene in its structure preventing it from reaching the ecosystems.

Keywords: concrete; lighting; optical fiber; polystyrene.

I. INTRODUCCION

Actualmente, la tasa de crecimiento poblacional ha aumentado a nivel nacional, provocando que los centros urbanos o ciudades crezcan, tanto horizontal como verticalmente. Mayor cantidad de personas demandan mayor cantidad de recursos tales como alimentación, transporte y energía. Actualmente, la tasa de crecimiento poblacional ha aumentado a nivel nacional, provocando que los centros urbanos y ciudades crezcan, tanto horizontal como verticalmente. Un aumento en el uso de recursos energéticos representará, en el futuro, una cada vez mayor huella ecológica y, por ende, un mayor impacto al medio ambiente.

Ante esta coyuntura, cada vez más apremiante, el Estado Peruano aprobó el Código Técnico de Construcción Sostenible mediante el decreto supremo N° 015-2015-VIVIENDA. Este busca *«promover las eficiencias energética e hídrica en las edificaciones, de acuerdo a las condiciones bioclimáticas de la localidad en que se desarrolla, comprendiendo; entre otros; el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas y la utilización de artefactos o sistemas con eficiencia energética»*. Por otro lado, mediante la norma EM-110, se considera necesario el desarrollo de edificaciones con eficiencia energética sostenible, que disminuyan su consumo de energía en el largo plazo.

El consumo de energía eléctrica ha ido de la mano con el crecimiento poblacional y económico, siendo los sectores minería y residencial los que más han demostrado un gran incremento, desde el año 1995.

Asimismo, y con fines enteramente referidos a la iluminación, OSINERMIN (2016) manifiesta que, entre los períodos comprendidos en los años 2009 a 2016, el uso de energía eléctrica en los hogares llegó a un 3% del consumo total para fines de iluminación. La mayor parte de la energía usada en este sector es para refrigeración, climatización o cocción. Adicionalmente, esta institución, brinda datos alentadores sobre la migración de la población hacia el uso de luminarias más eficientes o los conocidos, “focos ahorradores”. Dicha tecnología presentó, un incremento de uso del 13% a nivel nacional.

En atención al ahorro energético y eficiencia lumínica, existen materiales que podrían contribuir a este fin, entre ellos el concreto liviano y la iluminación híbrida. El primero, es definido por la norma de concreto armado E.060 como un concreto que no excede los 1850 kg/m³ (aproximadamente un 75% de la densidad de un concreto normal). Este material es usado, en elementos no sometidos a esfuerzos estructurales. Es importante anotar, que estudios previos referentes al concreto translúcido, han usado diseños de mezcla base con dosificaciones tradicionales. En consecuencia, se ha resuelto emplear concreto liviano para este estudio, a fin de poder evaluar posibilidades alternas. Por otro lado, la iluminación híbrida recolecta luz natural del exterior, la cual es transportada por líneas de fibra óptica, (a manera de cables o tuberías) hacia zonas con deficiente iluminación o con uso exclusivo de iluminación artificial de fuente eléctrica.

Es por ello, que se evaluó una alternativa que provee iluminación, sin el mayor uso de energía eléctrica. Esto, mediante la implementación de paneles de concreto liviano con fibra óptica adicionada (iluminación híbrida). De tal forma que, permita la conducción de la luz natural exterior.

Finalmente, se tiene como objetivo principal de esta investigación el cuantificar el aporte de luz, en luxes, mediante iluminación híbrida diurna a través de paneles de concreto translúcido liviano. Como objetivos específicos se buscó definir las propiedades mecánicas del concreto translúcido – liviano en la presentación de paneles y medir el paso de la luz según diferentes cantidades de fibra óptica embebida en el panel de concreto tomando en cuenta los resultados mecánicos anteriores.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Concreto

El concreto, es un material muy conocido en el ámbito de la construcción civil. Entre sus más notables características, se destaca su gran resistencia, durabilidad y aptitud de adoptar infinitas formas según la necesidad del diseño CEMEX (2012). El concreto o hormigón, como se le conoce comúnmente, responde a una mezcla de conglomerante hidráulico como el cemento. La mezcla de este último con agua, arena y piedra, reacciona en un proceso químico llamado hidratación. Físicamente se endurece o “fragua”, por un espacio de 28 días, hasta llegar a una resistencia final apta para soportar fuerzas o cargas externas.

Es material, ha sido usado por la humanidad desde hace cientos de años de forma artesanal y empírica. No es hasta la llegada de la revolución industrial, que mediante la implementación de los procesos técnicos modernos que este producto se masificó y perfeccionó, para dar paso a la elaboración de grandes proyectos de ingeniería. Ejemplo de ello, es lo visto en la figura 1 se puede apreciar el uso del concreto como pavimento en la “Vía Expresa” de Lima, una de las obras más emblemáticas de la ciudad.

Abanto (1997), sostiene que el concreto posee la virtud de resistir muy bien las cargas externas de compresión, no obstante, muestra un deficiente comportamiento en fuerzas de tracción. Las resistencias o calidades de concreto, dependen del diseño de mezcla, siendo las más comunes y usadas de 100, 140, 175 y 280 kg/cm² entre otros. Presenta, un peso específico promedio de 2400 kg/m³, el cual es determinado en su mayoría por el contenido de piedra o agregado grueso de este según el diseño.



Figura 1: Pavimentación con concreto en la vía expresa de Lima (1966)

Fuente: Archivo Histórico El Comercio (1966). Recuperado Blog Lima Antigua.

Una variante de este material, es el llamado concreto liviano. Este material difiere del concreto original en que posee un menor peso específico.

Rodríguez Chico (2017), indica que la aparición del concreto liviano se remonta a la construcción del El Panteón de Agripa o Panteón de Roma en el año 27 d C. Allí los constructores romanos optaron por colocar concreto liviano en la forma de hornacinas en la cúpula central tal que pudiera aminorar el peso del techo. Este primer concreto liviano, contaba con materiales porosos de origen volcánico como la piedra pómez. Con el advenimiento de los procesos industriales, se eligió agregar agentes espumosos, agregados artificiales o desechos industriales procesados, para lograr mejores prestaciones de lo que hasta el momento era el concreto liviano.

Hasta los años 30, diferentes investigadores en Alemania, Dinamarca, Gran Bretaña, la Unión Soviética y EEUU desarrollaron concretos celulares. Su búsqueda de un material liviano, apremiaba en satisfacer la necesidad de un mundo a punto de ingresar a la segunda guerra mundial. Las densidades alcanzadas con la adición de minerales como la perlita vermiculita, y otros materiales basados en arcillas y pizarras expandidas arrojaron pesos específicos de entre 1400 y 2000 kg/m³ con resistencias a la compresión de entre 280 y 500 kg-f/cm². Por aquella época, el pensamiento general era considerar que todo concreto era bueno y resistente, a tal punto que se construyeron camiones e incluso embarcaciones de

concreto con fines militares, que a la larga no serían fiables mecánicamente, dado el desmesurado peso de sus estructuras. (Ver Fig. 2)



Figura 2: Camión con concreto Thornycroft, type 2 “Bison”.

Fuente: The Tank Museum, Bovington – Dorsetshire. 1931. Recuperado de la página www.tankmuseum.org/museum-online/vehicles.

Con el pasar de los años, y con advenimiento de nuevas tecnologías se buscó retomar la idea de experimentar con variantes del concreto tradicional, en donde el objetivo es aligerar las estructuras, manteniendo las propiedades de resistencia y durabilidad tan apreciadas.

2.2 Concreto liviano

Ya que en el medio local el concreto liviano no es muy conocido, se ha recurrido a definiciones y estudios foráneos en donde denominan al concreto liviano como ligero.

Según las Normas Técnicas Complementarias Oficiales de México (NTC-C) (2004), se puede definir al concreto liviano como *«aquel concreto de peso ligero que contiene agregado fino y grueso de peso ligero, y que cumple con lo especificado en ASTM C330. Concreto con agregado liviano que tiene una densidad de equilibrio, tal como la define ASTM C567, entre 1440 y 1840 kg/m³»*.

Según la guía para agregados de concreto liviano, ACI 213R-03, se define como concreto liviano (*lightweight-aggregate concrete*) a todo concreto con una densidad equilibrada entre

1680 a 1920 kg/cm³. Indica, además que es de uso específico según el tipo de proyecto dependiendo en gran medida de las características de los agregados que lo conforman.

Por otro lado, en cuanto a sus componentes CEMEX (2012) afirma, mediante el documento “Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo” lo siguiente:

«En este concreto es difícil obtener resistencias a compresión mayores que 20 MPa (200 kg/cm²), sin que se alteren sus propiedades de rigidez y peso volumétrico, ya que en la medida que se incrementa la resistencia, sistemáticamente se incrementan el peso volumétrico y el módulo de elasticidad.».

En el ámbito nacional, la empresa UNICON, 2018 (Unión de Concreteras) afirma que los usos para el concreto liviano:

- En construcción de coberturas livianas, aislamiento, rellenos y elementos de amortiguación de impactos.
- Fabricación de paneles de concreto liviano de una sola capa, empleado en la construcción en ángulo.
- Usado en estructuras comerciales livianas, fábricas y para viviendas residenciales.

Con las siguientes ventajas:

- Ahorros en acero estructural y en los tamaños disminuidos de la cimentación debido a cargas disminuidas y una resistencia y un aislamiento mejores contra el fuego, el calor y el sonido.
- Posee propiedades de aislamiento térmico, acústico y eléctrico.

También, anota sus desventajas:

- Un costo mayor al convencional de entre 30 y 50 por ciento.
- Mayor cuidado en el manejo y colocación respecto al concreto normal.
- Mayor porosidad y mayor contracción por secado.

Los métodos de obtención de concreto liviano varían, pues no existe hasta el momento un estándar o norma de elaboración. Algunos pueden usar uno o varios métodos en su elaboración. Dentro de los más conocidos se tiene:

- **Concreto celular:** Cuando se incorpora de aire o gas durante la etapa de mezclado manteniendo la presencia de “celdas” de aire durante el proceso de fraguado.
- **Concreto con agregados livianos:** Cuando se incorporan agregados con relativa baja densidad, tanto naturales (piedra pómez, escoria, arcillas expandidas) como artificiales (perlas de poliestireno expandido).
- **Concreto sin finos:** Cuando se usan agregados de granulometría uniforme eliminando la presencia de finos.

En suma, se puede afirmar que las características y comportamiento del concreto liviano, están en función de su peso volumétrico, los materiales que lo integran y de los métodos usados en su elaboración. Generalmente, sus usos no se encuentran en el ámbito estructural pues la relación densidad – resistencia varían de forma inversamente proporcional.

Dentro de la presente investigación, se trató el concreto liviano elaborado con agregados livianos artificiales como son las perlas de espuma de poliestireno.

2.3 Concreto con Agregado de Poliestireno (CAP)

Según el IMCYC (Instituto mexicano del cemento y el concreto), el CAP es un concreto liviano con una buena capacidad de deformación. Su aplicación se limita al uso no estructural, debido a su aparente baja resistencia. Este material, es usado en paneles de revestimiento, muros no estructurales, estructuras flotantes marinas, entre otros.

El diseño del concreto es bastante similar al del concreto común y corriente, pero agrega esferas o “perlas” de poliestireno expandido (de 1 a 6mm de diámetro) en sustitución parcial de la piedra o agregado grueso. En la Figura 3, se muestra una serie de porcentajes de poliestireno agregado propuestos por el IMCYC.

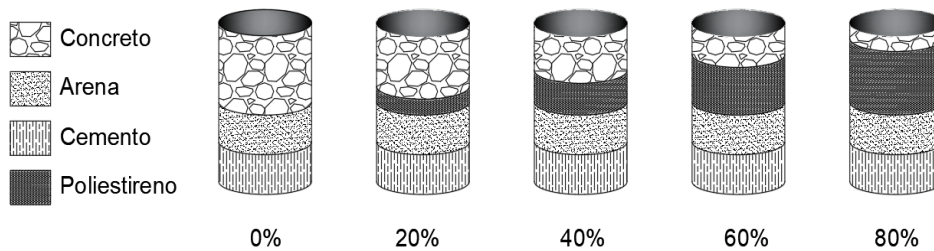


Figura 3: Proporciones de perlas de poliestireno propuestas por el IMCYC.

2.3.1 Poliestireno expandido (EPS)

El Poliestireno Expandido es una resina sintética espumada utilizada en el sector de la construcción, principalmente como aislamiento térmico y acústico. Está fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire". (IDAE, 2007).

Un bloque de poliestireno es un conglomerado compacto de perlas de poliestireno de alrededor 5mm de diámetro (Ver fig. 4). Es necesario resaltar que la matriz de todo bloque son estas esferillas llenas de aire, lo que le confiere rigidez y a la vez versatilidad.

En el ámbito internacional se le conoce como EPS (Expanded PolyStyrene) y más coloquialmente en nuestro país como “Tecnopor”.



Figura 4: Perlas Poliestireno expandido en bloque.

Fuente: Foto de Rodríguez (2019).

Como polímero termoplástico, este se obtiene de la polimerización del estireno monómero. Su estructura química es una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada

dos átomos de carbono. Es producido por una polimerización vinílica por radicales libres a partir del monómero estireno. (Ver Fig. 5).

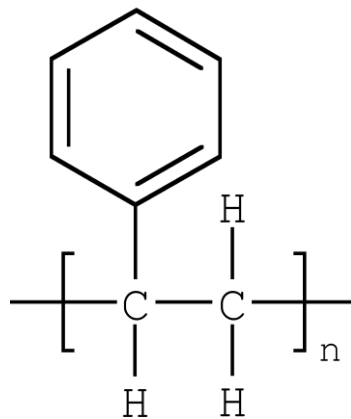


Figura 5: Estructura química del poliestireno.

Fuente: www.quiminet.com

Dentro de sus propiedades físicas más significativas ANDIMA (2007) menciona:

a) Color

El color natural del EPS es el blanco, pero, puede ser teñido externamente de diferentes colorantes según sea su uso.

b) Densidad

Una de las características más importantes de este material es su gran ligereza con respecto a su volumen, además de su rigidez. La densidad aparente promedio varía entre los 10kg/m³ y 35 kg/m³. Su estructura contiene un 98 por ciento de aire.

c) Conductividad térmica

Este material se comporta como mal conductor de calor, debido a su estructura celular llena de aire (cerca del 98 por ciento). Muy usado en la industria de la construcción, en techos y paredes. Este material también es empleado en el campo de la conservación de los alimentos, pues no permite el ingreso de calor del exterior.

d) Humedad

El EPS se muestra como no higroscópico en presencia de agua. El agua en estado líquido es absorbida en cantidades poco significativas. El EPS sumergido en períodos de alrededor de

28 días absorbe un promedio de 1 a 3 por ciento de su volumen (Poliestireno Expandido - Textoscientíficos.com, 2005). Sin embargo, para el caso del vapor de agua si existe difusión dentro de la estructura cuando existe un gradiente de presión o temperatura.

e) Propiedades Biológicas

El EPS no constituye substrato nutritivo alguno para los microorganismos. Es imputrescible, no enmohece y no se descompone. No obstante, en presencia de mucha suciedad el EPS puede hacer de portador de microorganismos, sin participar en el proceso biológico. Tampoco se ve atacado por las bacterias del suelo. Los productos de poliestireno cumplen con las exigencias sanitarias, de seguridad e higiene establecidas. El EPS puede utilizarse con total seguridad en la fabricación de artículos de embalaje, destinados al contacto alimenticio. El material tiene ninguna influencia medioambiental perjudicial no es peligroso para las aguas. Se pueden adjuntar a los residuos domésticos o bien ser incinerados. En cuanto al efecto de la temperatura, mantiene las dimensiones estables hasta los 85°C.

f) Compatibilidad con otros productos

El EPS no reacciona químicamente con componentes esenciales del concreto tales como el cemento, agua, arena, cal, yeso entre otros. Donde hay comportamiento químico negativo es frente a hidrocarburos aromáticos tales como el benceno, cumeno, estireno, etilbenceno, vapores como el alcanfor y la naftalina. En estos casos, el EPS se disuelve liberando el contenido de aire y disminuyendo su volumen.

g) Comportamiento frente a agentes climáticos externos

El EPS expuesto una prolongada exposición a la intemperie y en especial frente a los rayos UV, se va degradando tornándose amarillento y frágil. Agentes erosivos como la lluvia y el viento, producen su desintegración al cabo de un tiempo. La mejor forma de proteger el material, es mediante el confinamiento en ambientes cerrados o usando revestimientos y pinturas.

h) Relación con el medio ambiente

El poliestireno expandido usa plástico derivado del petróleo. Si bien este origen deriva de un recurso natural no renovables, éste representa sólo el 0.1 por ciento del uso que se le da al petróleo en general. Por otro lado, no se usan compuestos derivados de gases invernaderos tales como CFCs, HCFCs y HFCs en su fabricación. La ANAPE (2018), sostiene que en

cuanto a su incorporación como residuo sólido este material es 100 por ciento reciclable y reutilizable. El método de reciclaje más convencional es ser reducido en pequeñas partículas y agregado como materia prima hasta en un 50 por ciento para la manufactura de poliestireno nuevo. Países con conocida cultura de tratamiento de residuos sólidos como Austria, importan hasta 100 000 m³ de residuos de poliestireno anuales para la fabricación de nuevo producto. Actualmente se promueve el uso de este material como paneles o agregados de concreto, dejando de lado su clásico uso como recipientes temporales de alimentos.

i) Legislación peruana sobre el uso de EPS

Según la ley que regula el plástico de un solo uso y recipientes o envases descartables, en su Artículo 1. Objeto y finalidad de la ley, inciso 1.1 se indica que el objeto de esta es establecer el marco regulatorio sobre el plástico de un solo uso y no reutilizables, así como los recipientes o envases descartables de poliestireno expandido (tecnopor) para alimentos y bebidas de consumo humano en el territorio nacional. En su artículo 3 prohíbe el uso y fabricación para el consumo interno, importación, distribución, entrega, comercialización y uso de recipientes o envases y vasos de poliestireno expandido (tecnopor) para alimentos y bebidas de consumo humano. Dicha prohibición entrará en vigencia el 18 de diciembre del 2019.

La norma indica en sus disposiciones complementarias finales, una reducción progresiva de bienes de poliestireno expandido. El Poder Ejecutivo, en la forma de sus ministerios y demás dependencias, se compromete a la promoción de la investigación, tecnología u otras relacionadas al consumo y/o producción sostenible del plástico e impulsar proyectos orientados a mitigar el impacto negativo en el ambiente y la contaminación producida por el plástico.

2.4 Fibra óptica usada en la iluminación

El principio por el cual la luz viaja a través de la fibra es explicado por la refracción y la reflexión. Rodríguez (2012), indica que la primera, es el cambio de dirección que llevan las ondas cuando pasan de un medio a otro. La segunda es el cambio de dirección de la onda, pero hacia el origen. La luz al ingresar de un medio (aire) a otro (fibra), cambia su dirección siendo conducida por la refracción de ésta en las paredes internas del filamento a modo de “zigzag” (Ver Fig. 6). Este trayecto garantiza que la luz llega a su destino sin ninguna pérdida en cantidad de luz, dispersándose en un ángulo de alrededor de 60°.

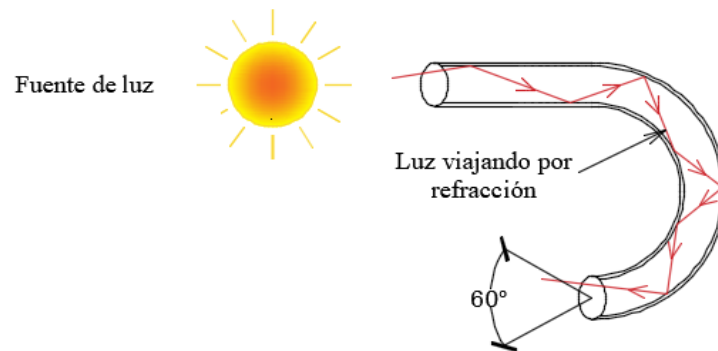


Figura 6: Tránsito de la luz a través de la fibra óptica.

Fuente: Adaptación, KEYENCE (2018)

Tipos de fibra óptica

La guía de sensores para fábricas clasificados de la empresa Keyence, consultada en diciembre del 2018, presenta una clasificación según el tipo de manufactura.

a) Tipo fibra de vidrio

La fibra de vidrio se compone de fibras de 10 a 100 μm de diámetro, contenidas en tubos de acero inoxidable. Esto permite que sean utilizadas a altas temperaturas de funcionamiento (hasta. 350°C / 662°F).

b) Fibra óptica de plástico (FOP)

El núcleo de la fibra de plástico se compone de una o más fibras de resina acrílica de 0.25 a 1 mm de diámetro, provistas de un revestimiento de polietileno. Las fibras de plástico son ligeras, rentables y flexibles. Es por ello, que estas fibras son del tipo más común de sensor.

2.4.1 Fibra óptica de plástico (FOP)

Parola (2018), sostiene que «*la fibra óptica de plástico con dopante híbrido funciona como un concentrador solar luminiscente: absorbe la luz solar y la emite a una mayor longitud de onda; transporta la luz al extremo de la fibra, por reflexión interna total y en el extremo de la fibra se coloca la célula fotovoltaica.*». También, destaca que como otros concentradores luminiscentes, resulta muy apropiado para obtener energía solar en espacios situados en sombra y en días nublados. Eberle (2017), indica que el conjunto de fibras, permite curvaturas menores a 20 mm con alta flexibilidad para interconexiones. La fibra óptica plástica es resistente a la manipulación, vibración y colisiones. También, presenta un buen comportamiento en ambientes hostiles, húmedos e incluso acuosos.

La fibra óptica de plástico o FOP (*Plastic Optic Fiber*), es un conjunto de fibras fabricadas de diferentes plásticos como el poliestireno, policarbonatos, polimetil metacrilato o polimetacrilato de metilo y polímero perfluorado entre otros (Ver Fig. 7). Dentro de las características físicas más relevantes una fibra óptica se debe tener en cuenta dos parámetros, estos son la dispersión y la atenuación. La primera corresponde al modo en cómo viajan los rayos de luz a través de la fibra lo cual produce un atraso en la transmisión de la señal. Esta es la razón principal por la que existe una reducción o limitante en la distancia de transmisión o como mejor se le conoce, ancho de banda. La atenuación, refiere a cualquier tipo de fenómeno que aminora la potencia de transmisión en la fibra óptica. Este parámetro, aumenta exponencialmente con la distancia que recorre la luz a través de la fibra óptica. La unidad de medida para este carácter son los decibeles por kilómetro (dB/km).

Para Eberle (2017), los materiales de los que se elaboran las fibras ópticas de plástico tienen en común la ventana de operación en la zona visible del espectro; con ello, solamente proporciona una atenuación aceptable en esta región del espectro, que en términos de longitud de onda se encuentra desde 450 hasta 780 nm. El mínimo se localiza alrededor de 85 dB/km en 570 nm. Este tipo de comportamiento, es ocasionado por las bandas de absorción del material, en especial del polimetilmetacrilato, que es una de las razones fundamentales para utilizarla en comunicación a corta distancia de una manera eficiente hasta los 100 m.

Por otro lado, dado que estas fibras trabajan con el espectro de luz visible, es sencillo ver si hay obstrucciones o conexiones defectuosas. La temperatura de operación varía entre los $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sus limitaciones principales son la velocidad de transmisión y distancia. Es por ello, que la industria las ha destinado a operaciones con distancias cortas y en aplicaciones que requieren alto ancho de banda, como la transmisión de datos.

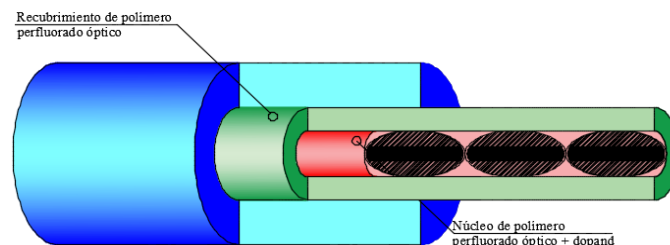


Figura 7: Estructura interna de fibra óptica plástica.

Fuente: Adaptado de *Manufacture of Perfluorinated Plastic Optical Fibers* (2005).

2.4.2 Fibra óptica tipo SI - POF (Step Index Fiber)

Estas fibras fueron desarrolladas a mediados de los años 90 por la firma japonesa *Mitubishi Rayon Co*, a partir de un polímero revestido con un índice de refracción de alrededor del 2 por ciento. Las fibras del tipo SI-POF se presentan en la forma A4, en subcategorías denominadas A4a, A4b, A4c y A4d. Reciben el nombre de “Step Index” dado que tienen un perfil de índice de refracción es parecido a los “pasos” (step) de una escalera (Ver Fig. 8), mientras que en otros tipos la luz viaja en forma ondulante.

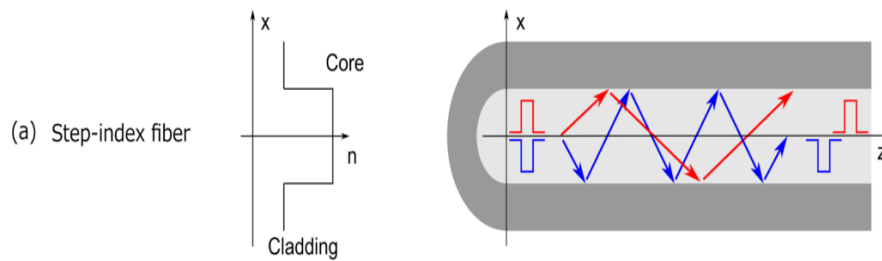


Figura 8: Refracción de la luz interna en fibras tipo SI.

Fuente: *FiberLabs Inc* (2019)

Tsukamoto (2014) presenta las principales características de las fibras de serie A4a en la tabla 1.

Tabla 1: Características de la fibra óptica de serie A4.

Descripción	A4a	A4b	A4c	A4d
Diámetro fibra (μm)*	1000	750	500	1000
Diámetro núcleo (μm)	Entre 15 a 35 μm más pequeños que el diámetro del recubrimiento.			
Temperatura de operación	de -40°C a $+80^{\circ}\text{C}$	de -40°C a $+80^{\circ}\text{C}$	de -40°C a $+80^{\circ}\text{C}$	de -40°C a $+80^{\circ}\text{C}$
Ancho de banda operacional (nm)	650	650	650	650
Atenuación (Db/m)	≤ 30	≤ 30	≤ 30	≤ 18
Distancia de transmisión	Corta	Corta	Corta	Corta
Usos	<u>Iluminación</u> Campo digital audiovisual.	<u>Iluminación</u> Sensores industriales	<u>Iluminación</u> Sensores	<u>Iluminación</u> Campo digital.

(*) $1000 \mu\text{m} = 1\text{mm}$

Fuente: Tsukamoto (2014)

2.4.3 Iluminación a base de fibra óptica

Salvatierra (2010), sostiene que la fibra óptica aprovecha las características de propagación de la luz a una frecuencia del orden de 2×10^{14} Hz, las cuales corresponden al espectro visible con una longitud de onda de 1500 nm. Por tanto, es propiedad de este material, el conducir la luz a través de toda la fibra, la cual puede estar embebida en una masa de material inerte como, por ejemplo, el concreto.

Desde la década de los 90, existen los sistemas de iluminación solar híbrida (*Hybrid solar lighting* – HSL) desarrollados por el Oak Ridge National Laboratory de Tennessee – EEUU. Este sistema recoge la luz solar del exterior y la condensa en un haz, que viaja a través de una línea de fibra óptica hacia habitaciones totalmente aisladas del exterior. Maxey (2008), indica que los flexibles haces de luz solar, son fácilmente conducidos a través de pequeñas aberturas y alrededor de obstáculos, para llevar la luz a donde es necesaria.

Parte de esta tecnología, propone el ajuste automático de la luz en las terminales de las fibras. Usa la luz, en forma de complemento para las luminarias de la habitación (lámparas, fluorescentes, etc.).

2.5 Tecnología del concreto traslúcido

El concreto en el ámbito de la construcción, es la tecnología que ha evolucionado según las necesidades y cambios en los últimos años. La adición de elementos no tradicionales en la elaboración del concreto, ha buscado la mejora de sus propiedades entre ellas resistencia y durabilidad. (Vidal 2006).

Algunos investigadores han buscado encontrar funciones adicionales que van más allá del clásico uso estructural del concreto. Por ejemplo, en el año 2001, Losonczi patentó un tipo de concreto en bloques que contiene en su estructura líneas de fibra óptica. El material fue bautizado como “LiTraCon” y su presentación fue en la forma de bloques de 20x20x100 cm, con un 4 y 96 por ciento de volumen de fibra óptica y concreto, respectivamente. Este producto permite el paso del 30% de luz pudiendo ésta recorrer un máximo de 2 metros (espesor). Las características principales del Litracon son:

- Composición: 96 por ciento de concreto y 4 por ciento de fibra
- Densidad: entre 2100 y 2400 kg/m³

- Resistencia a la compresión: 509.86 kg/cm²
- Presentación: Bloques prefabricados.

Otros estudios, pasaron de la translucidez a la transparencia, como el que realizó Rubio Ávalos (2015), quien llevó a cabo estudios sobre un concreto capaz de emitir luz por sí mismo después de recibir radiación solar durante el día. Esto se logró modificando el cemento (compuesto primordial del concreto), siguiendo el principio de los plásticos fluorescentes. En palabras del propio Rubio, este cemento fue ideado para usarse en espacios sin acceso a instalaciones eléctricas. También, los mexicanos Sosa y Omar (2005), patentaron un concreto enteramente traslúcido, que permite un mayor paso de la luz que el producto anterior, asimismo presenta una resistencia a la compresión muy alta, así como resistencia al ataque de sulfatos y agentes externos. Este producto ya patentado, se conoce con el nombre comercial de “Illum” y es básicamente un concreto polimérico.

2.6 Conclusiones sobre el concreto traslúcido

Contrariamente a lo que se piensa, las características que puede ofrecer el concreto traslúcido va más allá que sólo su resistencia y durabilidad. Estudios recientes, han comprobado que el concreto tradicional puede ser modificado hasta ser convertido en un agente que pueda permitir el paso de la luz. Este concreto responde a la mezcla de materiales convencionales como lo son el cemento o los agregados junto a aditivos y fibras entre otros. Existen dos tipos de concreto traslúcido: con el aditivo “Illum” y el “Litracon”, sus características se resumen en la tabla 2:

Finalmente, el aporte de esta investigación, radica en la búsqueda de otros tipos de concreto no tradicionales que contienen fibras que admitan el paso de la luz natural. En este caso, se ha experimentado con concreto liviano con contenido de poliestireno expandido. La contribución de este concreto traslúcido se traduce en paso de la luz natural y una alternativa de uso del poliestireno como material de construcción.

Tabla 2: Comparativo entre tipos de concreto traslúcido.

Concreto Traslúcido Ilum	Concreto translúcido Litracon
Usa el aditivo llamado “Ilum”.	LiTraCon es un concreto tradicional con un arreglo de fibras ópticas y/o fibras de vidrio.
Posee una resistencia a la compresión hasta los 4500 kg/cm ² .	Posee una resistencia a la compresión de entre 250 y 900 kg /cm ² .
Nula absorción de agua.	Al usar concreto tradicional existe absorción de agua.
Peso volumétrico 10 por ciento inferior al tradicional.	Peso volumétrico 20 por ciento inferior al tradicional.
Puede ser vaciado bajo el agua.	No puede ser vaciado bajo el agua.
El paso de la luz se da en piezas de hasta 2 metros de espesor.	El paso de la luz se da en piezas de hasta 30 o 60 centímetros de espesor.

En la tabla 3, se presentan, ventajas y desventajas que presenta el uso del concreto traslúcido:

Tabla 3: Cuadro de ventajas y desventajas del concreto traslúcido.

Ventajas
Permite el ahorro en cuanto a partidas de acabado, revestimientos y pintura.
Se presenta como un material más ligero que el concreto tradicional.
Presente resistencias superiores a los diseños comunes con concreto tradicional.
Admite el paso de hasta el 70 por ciento de la luz en el caso del Ilum.
Puede ser fabricado en obra o como prefabricados.
Da libertad en cuanto a diseños arquitectónicos y estética.
Desventajas
No existe una normativa nacional o internacional (referencial) que permita y avale su uso estructural.
Sus costos de fabricación son mayores al del concreto tradicional. El mayor costo radica en los materiales y mano de obra usados.
Al ser una tecnología relativamente nueva su presencia en el mercado es relativamente limitada y hasta cierto punto desconocida.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El método científico precisa contar con orden específico de recursos y eventos que den como producto una serie de información. El método también brinda resultados que permitan dar conclusiones afirmando o negando un planteamiento inicial. Es por ello, que este capítulo permitirá conocer ubicaciones, materiales, equipos y herramientas, entre otros. También se presenta la metodología de ensayo con datos avalados por la normativa vigente para la etapa de conclusiones y recomendaciones.

3.1 Metodología de la investigación

3.1.1 Ubicación geográfica de los trabajos de investigación

Los trabajos de investigación se realizaron en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La dirección de la casa de estudios es Avenida La Universidad S/N Distrito de La Molina – Lima. Esta se ubica, en las coordenadas UTM: 8663630.4 mN y 287963.2 mE a una altura de 240 m.s.n.m.

3.1.2 Fecha de la investigación

La investigación se desarrolló entre los meses de octubre del año 2018 y mayo del año 2019.

3.1.3 Materiales y equipos a utilizar

Materiales

- Agregado fino – arena gruesa
- Agregado grueso – Piedra chancada
- Agua
- Cemento Portland tipo I marca “SOL”
- Perlas de poliestireno coloreadas
- Petróleo para embadurnar los moldes de probetas de concreto
- Cal para agua de poza de curado.
- Fibra óptica plástica transparente de 0.75mm de diámetro.

Herramientas

- Probetas de 500 y 1000ml, bandejas y charolas de acero, espátulas de metal, fiola de 500ml, cono y pisón de arena, varilla de metal, cono de Abrams, moldes de plástico de PVC y metal para testigos cilíndricos y encofrado de madera para moldes cúbicos, plástico tipo piso de PVC, cepillos, regla de metal
- Cono de Abrams, plástico tipo piso de PVC de 1 m², varilla de metal, moldes de plástico de PVC y metal para concreto, lampa, buggie de 3pies³, bidones de agua de 20lt, cepillos.
- Poza de curado de 2.8 m³
- Balanza de OHAUS modelo SPJ6001 (capacidad máxima 6000g) para pesos menores a 1 kg., balanza de A&D modelo FG-30KBM (capacidad máxima 30 kg) para pesos menores a 15kg y balanza mecánica para pesos mayores a 15kg.
- Guantes, franelas, baldes de plástico, brochas.

Equipos

- Estufa a temperatura constante de 110 °C
- Mezcladora de concreto eléctrica de 5.5 pies³ de capacidad
- Luxómetro Serie PR-382
- Cámara fotográfica
- Vehículo para transporte de materiales y testigos
- Prensa hidráulica para pruebas de compresión axial
- Compresora de aire para desmolde de testigos

3.1.4 Laboratorio de ensayo y prueba de materiales de la UNALM

La fase experimental requiere de una disponibilidad de herramientas y equipos, así como de un ambiente controlado donde los agentes externos, como el clima, no alteren los resultados. Es por ello, que se eligió al laboratorio de prueba y ensayo de materiales (LEM) de la UNALM como lugar idóneo para realizar los experimentos.

El laboratorio se encuentra en el distrito la provincia de Lima, distrito de La Molina en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina en el área de la facultad de Ingeniería Agrícola en las coordenadas UTM: 8663750 m N y 287853 m E.

3.1.5 Planificación de la investigación

La investigación fue abordada desde un enfoque cualitativo. Hernández (2014), define al enfoque cualitativo como aquel que utiliza la recolección y análisis de datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación.

Se plantearon dos etapas en la investigación, la primera necesaria para la determinación y diseño de un concreto liviano con contenido de EPS. La segunda parte corresponde a la medición de la luz que pasa a través de los bloques de concreto liviano, por medio de la fibra óptica.

Cada una de estas etapas experimentales dio un conjunto de datos cuantitativos, los que fueron analizados estadísticamente a fin de comprobar la veracidad o falsedad del planteamiento.

3.1.6 Determinación de la población y muestra

Población

Se consideró como población a todos los testigos de concreto liviano, elaborados con un peso específico entre 1120 y 1680 kg/m³ y que fueron capaces de contener líneas de fibra óptica en su interior.

Muestra

Para el caso de las muestras, se decidió usar del tipo no probabilística o dirigida. Hernández (2014), sostiene que en este tipo de muestras la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino, de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador. Para efectos prácticos, se emplearon 16 probetas cilíndricas de 6" x 12" para ensayos de propiedades del concreto liviano y 27 probetas cúbicas de 150 mm de lado para la evaluación de paso de luz.

Análisis estadístico de los resultados

Uno de los aspectos más importantes de toda investigación es fundamentar los criterios para la toma de datos, y así encontrar patrones de comportamiento definidos, que puedan respaldar una afirmación. Estos patrones se muestran en un conjunto de testigos que comparten similares características.

Limitaciones tales como el tiempo de estudio, recursos económicos y disponibilidad de personal determinan la fabricación probetas de concreto en números limitados. Es por ello, que se recurre a la técnica del muestreo no probabilístico, en la que se elaborarán una cantidad finita de testigos o probetas. Esto, con la finalidad, de encontrar características repetitivas restringidas a la población.

En la primera fase del estudio, se determinó la elaboración de cuatro probetas por dosificación de concreto liviano con poliestireno, haciendo un total de 16 probetas cilíndricas. Para la segunda fase proyectó la elaboración de nueve probetas cúbicas de concreto liviano de 150 x 150 x 150 mm. según un porcentaje en volumen de fibra óptica colocada. La población total de probetas cúbicas fue de 27 testigos. En ambos casos, se determinaron características y propiedades donde se obtuvieron patrones o tendencias para relación al porcentaje de fibra – translucidez y porcentaje de fibra – resistencia a la compresión.

Los parámetros estadísticos utilizados, permitieron clasificar y evaluar la calidad de información recopilada de los ensayos realizados. Valores anómalos o discordantes, a la tendencia general fueron depurados a fin de tener una mejor descripción de los fenómenos observados. Se utilizaron los siguientes valores estadísticos:

- Media (\bar{X})
- Desviación estándar (σ)
- Mediana (Me)
- Moda (Mo)
- Valor máximo
- Valor mínimo

También, se utilizó el análisis de distribución normal de datos en la forma del método gráfico de la campana de Gauss. Este último, permitió apreciar la mayor concentración de datos similares y con mayor probabilidad de aparición.

3.1.7 Ensayos de concreto liviano

Caracterización de agregados

Para este estudio, se adquirieron 300 kg entre agregados gruesos y finos provenientes de la cantera “Huaycán”. Ya que el método ACI 211.1, para diseño de concreto, utiliza en sus cálculos parámetros de peso específico, humedad, absorción etc se ha considerado colocar

en un apartado los ensayos a realizar. En la tabla 4, se presentan las normas usadas, así como los alcances que cada una provee.

Tabla 4: Alcances de las pruebas realizada según NTP

Norma NTP	Alcances de la prueba	Resultados
NTP 400.012	Análisis granulométrico agregado fino y grueso. Incluye módulo de finura	Capítulo X Anexo 1
NTP 400.037	Valor menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.	Capítulo X Anexo 1
NTP 339.185	Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado	Capítulo X Anexo 4
NTP 400.021	Determinación de peso específico, peso específico aparente, peso específico de masa, peso específico de masa saturada superficialmente seca, absorción.	Capítulo X Anexo 2
NTP 400.017	Determinación del peso volumétrico	Capítulo X Anexo 3

Agua

El agua usada para elaborar concreto, fue tomada de la red de agua principal del campus de la UNALM. En el anexo 16 se adjunta el análisis de agua presentado por VASQUEZ (2018).

Cemento

El cemento portland elegido para realizar este experimento fue de la marca SOL tipo I (en cumplimiento de la NTP 334.009 “cementos portland requisitos”). La razón de su elección radica en que las ventajas que ofrece se ajustan a los requerimientos de la investigación. Los considerandos de la elección del cemento fueron las siguientes:

- Acelerado desarrollo de resistencias iniciales, permite un menor tiempo en el desencofrado.
- Ideal para la producción de prefabricados en concreto.
- Ideal para la fabricación de bloques, tubos para acueducto y alcantarillado, terrazos y adoquines.

En el capítulo X Anexo 11. se presentan las propiedades físico-químicas cemento usado.

Fibra óptica utilizada

Se empleó fibra óptica plástica del tipo A4b de 0.75 mm de diámetro ya que es la fibra más común y accesible en el mercado. Las características se detallan a continuación:

- Diámetro fibra (μm) 750
- Diámetro núcleo (μm) Entre 15 a 35
- Temperatura de operación de -40°C a $+80^{\circ}\text{C}$
- Usado en iluminación

Las fibras a utilizar fueron limpiadas y secadas, a fin de mantenerlas libres de polvo, grasas o aceites. Son incoloras, con forma recta, con ligeras curvaturas. Ya que la fibra es empacada en carretes o bobinas de 100m de largo se presentan curvaturas, que dificultan su colocación en los moldes por lo que es necesario enderezarlas. Para ello, se tomaron atados de fibra cortada para luego ser sumergidas en agua de entre 60 y 70°C por un espacio de 30 segundos. Luego fueron pasadas por agua a temperatura ambiente (20°C) manteniéndolas estiradas en el proceso. Esto asegura, que las fibras puedan ir a lo largo del bloque de concreto liviano en toda su extensión.

Esto garantiza que las fibras puedan ir a lo largo del bloque de concreto liviano en toda su extensión.

Es importante dejar en claro, que bajo ninguna circunstancia los extremos de la fibra fueron bloqueados por mezcla ya que esto hubiera impedido el paso de la luz. Las fibras se cortaron con 18 cm de longitud tal que cruzaron el largo del bloque de 15 cm de largo. Los restantes 3 cm fueron aislados con unidades de poliestireno a fin de asegurar la limpieza de los extremos de la fibra.

Se fabricaron un total de 27 testigos, divididos en tres grupos con diferentes porcentajes de fibra añadida. La cantidad responde, a que el tiempo requerido para la conservación de la trabajabilidad de la mezcla de probetas con fibra es el óptimo para un solo operador por vez.

El porcentaje de fibra añadida fue determinado en base a la propuesta del producto conocido como Litracon. Este usa fibras de $\varnothing 2\text{mm}$ de ancho en una cantidad de 4 por ciento con respecto al volumen de concreto. Por tanto, se probarán con tres porcentajes inferiores

teniendo en cuenta que se usará fibra de \varnothing 0.75mm por encontrarse disponible en el mercado. Los porcentajes se indican en la tabla 5.

Tabla 5: Porcentaje en volumen de fibras añadidas a los testigos.

Porcentaje	Cantidad de fibras por testigo (und)
1%	425
2%	850
3%	1275

En el capítulo X Anexo 13 se presentan las características técnicas de la fibra usada.

Diseño de mezcla de concreto en base al método ACI 211.1

El método de diseño de mezclas del ACI establece una primera aproximación de proporciones, con el propósito de ser verificadas por tandas de prueba en el laboratorio o en el campo. Posteriormente, permite realizar los ajustes necesarios para producir el concreto requerido. Los cálculos de los pesos de cada uno de los materiales requeridos están descritos en el capítulo X Anexo 5.

Caracterización del poliestireno expandido (EPS)

Para la fase de experimentación se usaron esferas de EPS, ya que tienen la ventaja de distribuirse mejor en toda la mezcla de concreto evitando la aparición de espacios vacíos o burbujas de aire.

Con fines de caracterización, se recurrió a la norma chilena NCh1070 - Aislación térmica - Poliestireno expandido – Requisitos. Esta clasifica a las perlas de EPS para ser usadas en cavidades o extendidas sobre la superficie del elemento para aislamiento térmico. La norma indica que la presentación en forma de perlas es incapaz de recibir cargas por lo que no fue necesario efectuar pruebas tales como conductividad térmica, resistencia mecánica, estabilidad dimensional entre otras.

Con respecto a la absorción máxima volumétrica de agua, la NCh1070 indica que ésta será \leq al 5 por ciento para el caso de planchas o bloques (conglomerados de perlas).

Por otro lado, con fines de identificación, se optó por diferenciar a los testigos según el porcentaje de poliestireno agregado con un color de identificación. Es así que se colocaron perlas color verde, azul y rojo para 40, 60 y 100 por ciento respectivamente. Con respecto a las características del poliestireno se usaron dos parámetros: el volumen y el peso específico. Las perlas de poliestireno usadas fueron de entre 5 a 6 milímetros de diámetro y tamizadas usando la malla N° 04.

Con fines experimentación, sobre el material a usar en laboratorio se procedió a determinar el peso de 500 ml de perlas de EPS (Ver Fig. 9) previo tamizado por la malla N° 4 (4,75mm) el cual arrojó un valor de 4g y por ende una densidad de 8 kg/m³ respaldado así lo manifestado en la norma consultada.

En el capítulo X Anexo 12. se presentan las características técnicas del poliestireno usado.



Figura 9: Medición de 500 ml de perlas de EPS para verificación de densidad

Diseño de mezcla de concreto liviano con EPS

Para la elaboración de concreto se partió de un diseño original normal mediante el método ACI 211.1. Ya obtenidas las cantidades agregado, cemento y agua para una mezcla de resistencia 175 kg/cm² A este diseño preliminar añadió poliestireno tal y como se ve en la Fig. 10.

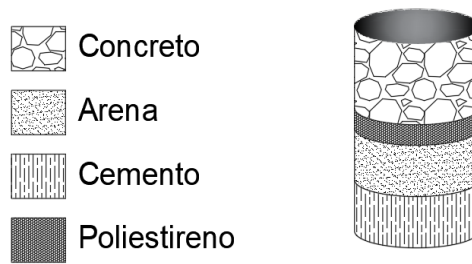


Figura 10: Distribución de insumos en volumen

Fuente: Adaptación IMCYC.

Porcentaje de EPS añadido en la elaboración de concreto liviano

El diseño del concreto es bastante similar al del concreto común y corriente, pero incluye esferas o “perlas” de poliestireno (de 1 a 6mm de diámetro) en sustitución parcial de la piedra o agregado grueso. En la figura 11, se muestra las proporciones, en volumen, a ser elaboradas donde se reemplazará la piedra por esferas de poliestireno progresivamente.

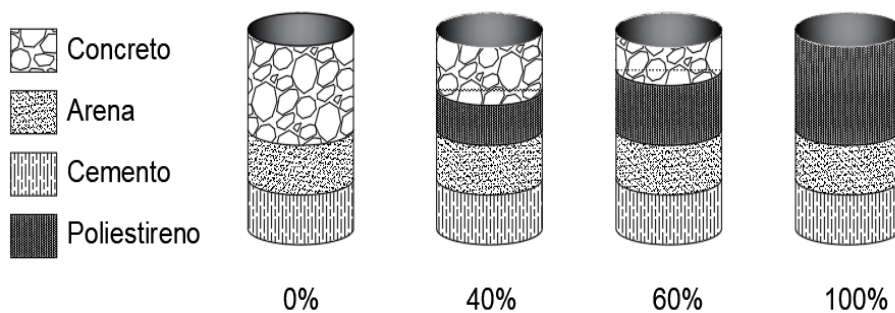


Figura 11: Proporciones de esferas de poliestireno en el CAP

Los porcentajes de poliestireno añadido planteados responden a que, al no existir una normativa de elaboración de concreto liviano es necesario contar con una referencia. Por tanto, se vio por conveniente recurrir a estudios previos como es el caso de experimentaciones ya realizadas parte de la IMCyC. En sus prácticas plantean porcentajes de 20, 40, 60, y 80 por ciento de perlas de poliestireno añadido. Para esta investigación se trabajó con porcentajes de 0, 40, 60 y 100 por ciento.

Dosificación para EPS añadido

Se elaboraron cuatro probetas de concreto usando el diseño antes contemplado a manera de control. Estos ensayos proveyeron datos de partida para peso, densidad y resistencia iniciales.

A partir de la dosificación para concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, se realizó el reemplazo parcial del contenido de piedra. El volumen para una probeta cilíndrica para ensayo de compresión de 6" x 12" según norma (NTP 339.034) - Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto. El volumen de un cilindro de 6" x 12" es $5560,013 \text{ cm}^3$. Se elaboraron dosificaciones de material para diferentes cantidades de EPS añadidos. La figura 12 muestra las dosis usadas por probeta elaborada:

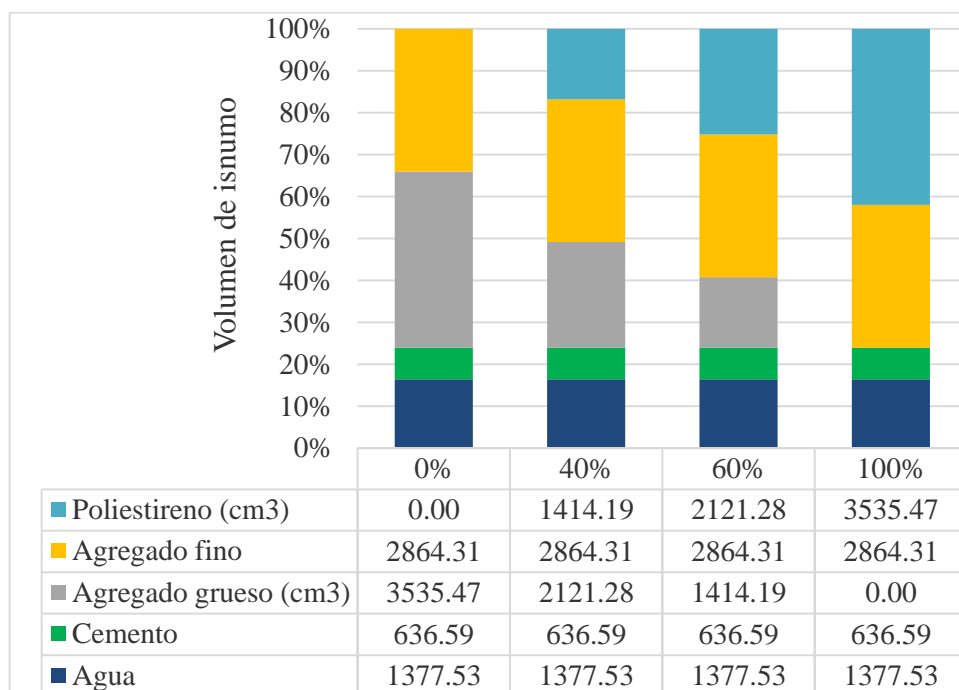


Figura 12: Variación de las proporciones según mezcla

A fin de reducir el número de variables que pudieran afectar la resistencia del concreto, se mantuvieron constantes las cantidades de agua, cemento y agregado fino. Las únicas variables a tomar en consideración fueron el agregado grueso y las perlas de EPS. El principio lógico, según el marco teórico, se basó en que concreto liviano adolece de agregado grueso el cual es principal responsable tanto de la resistencia, así como del peso específico. En la figura 13, se puede apreciar desde un reemplazo nulo hasta uno completo de EPS por agregado grueso. Esto quiere decir, que por cada probeta de concreto liviano (con 100 por ciento de reemplazo de agregado grueso) se deben usar 3535.47 cm^3 de perlas de EPS.

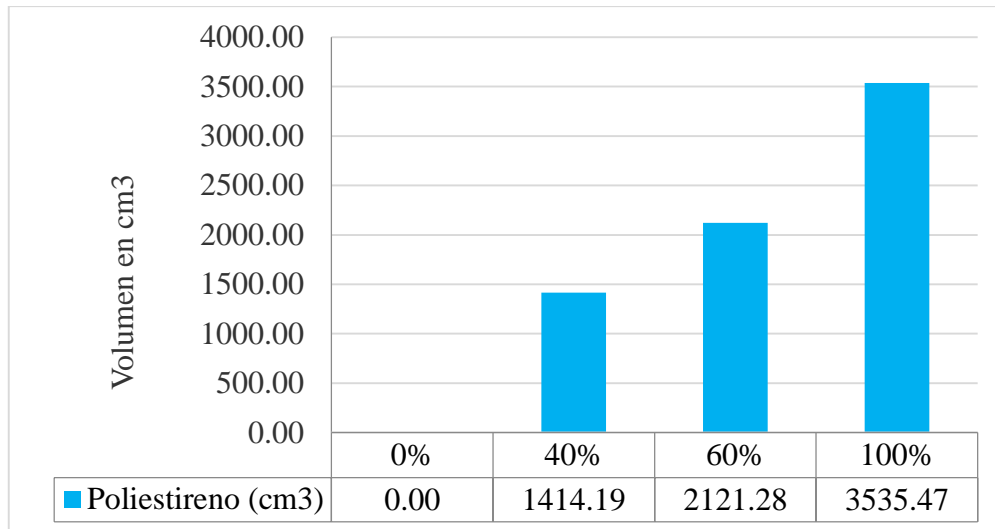


Figura 13: Variación del volumen de perlas de EPS agregado por probeta

Elaboración de probetas de concreto liviano

En la primera etapa del estudio se ha visto por conveniente usar probetas cilíndricas en atención a la Norma NTP 339.034 a fin de ensayar los testigos por compresión.

Para la segunda etapa se ha previsto utilizar probetas cúbicas de 150mm x 150mm x 150mm (Ver Fig. 14) en atención a la el *Standart Internacional ISO 1920-3 Testing of concrete – Making and curing test specimens* en donde detalla las posibles dimensiones de los testigos.

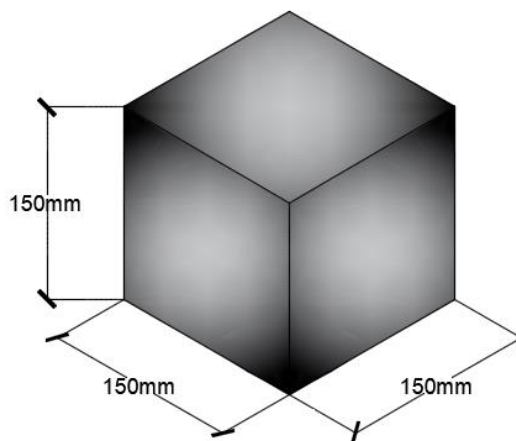


Figura 14: Testigo cúbico de concreto liviano

Fuente: Adaptación de la norma ISO 1920-3

Vaciado de concreto en moldes de madera y desmoldado

En el caso de los testigos cúbicos, los moldes fueron elaborados usando madera contraplacada de una pulgada de espesor formado cubos de 150 x 150 x 150 mm de lado. Para un mejor manejo, tanto en el encofrado y desencofrado se vio por conveniente armar 3 moldes de 3 cubos cada uno. De esta forma se pudo preparar el concreto en tandas y vaciar la mezcla por partes procurando colocar la fibra óptica tal que los extremos de estas quedaron libres asegurando el paso de la luz a través del eje principal del cubo.

Los extremos de los testigos fueron encofrados con retazos de espuma de poliestireno de 150mm de largo por una altura variable (según la densidad de fibra a colocar) de tal forma que aseguraron que ambos extremos de la fibra estuvieran libres de concreto. A continuación, se presenta la figura 15 la cual ofrece un esquema de lo descrito.

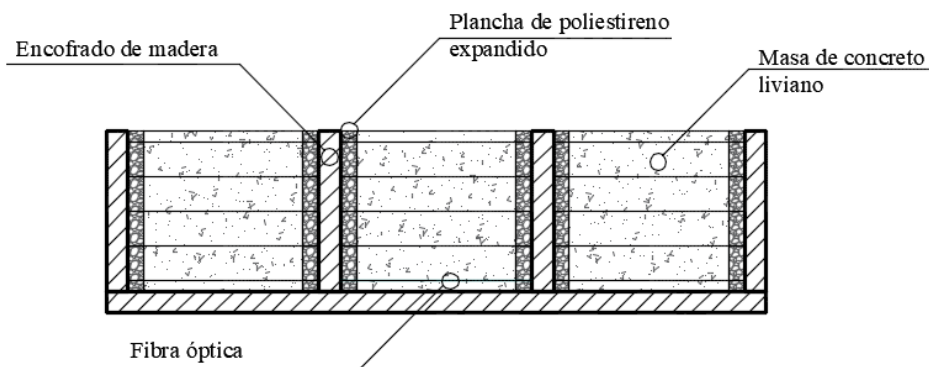


Figura 15: Encofrado y armado de bloques de CAP con fibra óptica

Curado de testigos

En el caso de los testigos cilíndricos, una vez desmoldados se sumergieron en una solución de agua y cal en lo que se conoce como la poza de curado con el fin de preservar los testigos en las mejores condiciones.

Para el caso de las probetas cúbicas elaboradas de concreto liviano la guía ACI 213R-03 no es específica en determinar el proceso de curado especial. Ya que el concreto liviano es poroso y que, si es curado de forma convencional, (sumergido) el agua penetrará dichos espacios produciendo bajas resistencias a la compresión debido a las presiones de los poros internos saturados.

Dada esta situación se vio por conveniente recurrir a la norma técnica guatemalteca NTG 41017-h13 (derivada de la ASTM C 567) “Método de ensayo para la determinación de la densidad del concreto estructural liviano” la cual sostiene en su punto 7.3 Curado de especímenes los siguiente:

«A menos que se especifique de otra manera, durante las primeras 24 h o hasta el momento del ensayo, almacene los cilindros de ensayo utilizados para la determinación de densidad seca bajo condiciones que mantengan una temperatura adyacente a los cilindros en el rango entre 16 y 27 °C (60 a 80 °F) y que eviten la pérdida de humedad desde los cilindros»

Atendiendo esta recomendación, se procedió a desmoldar los testigos de concreto y colocarlos en bolsas de polietileno (Ver fig. 16) manteniéndolas en condiciones de laboratorio. La temperatura media para los meses en que se desarrolló el estudio se presentó adecuada para los rangos especificados líneas arriba.



Figura 16: Embolsado y almacenado de probeta de concreto liviano.

3.1.8 Ensayos mecánicos en laboratorio

Prueba de compresión axial

En los testigos cilíndricos se realizaron pruebas de compresión de concreto cumpliendo con la norma NTP 339.034. Dichas pruebas se efectuaron aplicando una carga axial P (ver Fig. 17) en la cara superior de las probetas cilíndricas. Esta varía, en función al tiempo de

maduración del concreto con un equipo denominado prensa hidráulica. Esto, con el objetivo comprobar la resistencia a la compresión de la unidad hecha con concreto liviano.

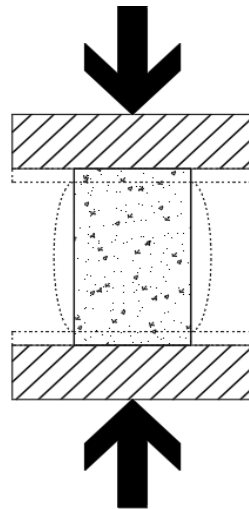


Figura 17: Carga axial de compresión aplicada en testigo

Fuente: Adaptación norma NTP 339.034

Finalmente, se calculará la resistencia a la compresión (R_c) de la siguiente forma:

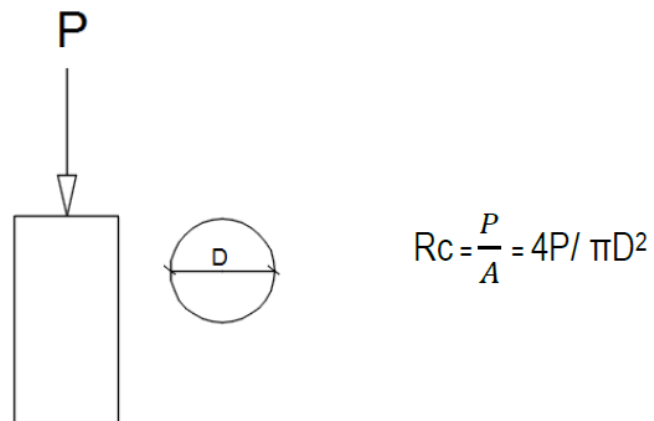


Figura 18: Cálculo de la resistencia en unidades de fuerza sobre área

Fuente: Adaptación norma NTP 339.034

Donde:

- R_c = Resistencia a la compresión
- P = Carga máxima aplicada en kgf
- D = Diámetro de la probeta en cm
- A = Área de la cara en contacto con la fuerza P en cm^2

Prueba de compresión diagonal

Adicionalmente se efectuó una prueba de compresión diagonal en el laboratorio de ensayo de materiales de la UNALM. Para ello, se elaboraron paneles de concreto liviano a ser ensayados en una prensa hidráulica. Los paneles prefabricados serán considerados como “muretes”. Por ello se ha usado como referencia la NTP 399.621 UNIDADES DE ALBAÑILERIA. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería. Es importante anotar que la norma alcanza a unidades de albañilería de concreto sólido mas no a unidades de concreto prefabricado.

Este ensayo determina la resistencia a la compresión diagonal (corte) en paneles prefabricados de 230mm x 230mm. Este ensayo induce a la falla por tracción diagonal del testigo, con un fisuramiento paralelo al sentido de aplicación de la carga P de acuerdo a la siguiente figura:

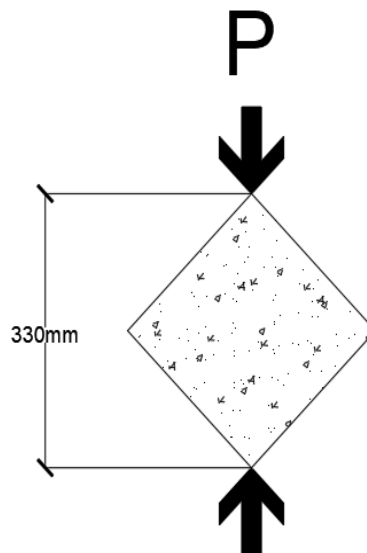


Figura 19: Carga P aplicada durante prueba de compresión diagonal

Fuente: Adaptación de la norma NTP 399.621

El cálculo del esfuerzo cortante se da de la siguiente forma:

$$V_m = \frac{P}{Ab}$$

Donde:

V_m = Esfuerzo cortante en sobre área bruta en Kg/cm²

P = Carga aplicada en Kg

Ab = Área bruta del espécimen en cm², calculada de la siguiente forma:

$$Ab = Lc \cdot t$$

Donde:

L_c = Longitud diagonal del panel en cm

t = Espesor total del panel en cm

Se efectuaron un total de 12 ensayos de compresión diagonal.

3.1.9 Ensayos de paso de luz en laboratorio

Para este ensayo, se usaron testigos cúbicos de concreto liviano con fibra óptica embebida. Se probó la capacidad de paso de luz iluminando un lado del testigo a fin de hacer que la luz viaje a través de la fibra óptica y llegue al otro extremo. El ensayo se realizó en un ambiente oscuro donde se colocó una luminaria, en este caso una linterna, y se midió la cantidad de luz de ingreso y egreso en el otro extremo tal y como se muestra en la figura 20.

Para efectos de cuantificación de la luz se usó un luxómetro el cual permite medir la luz o luminosidad que hay en un ambiente perceptible al ojo humano.

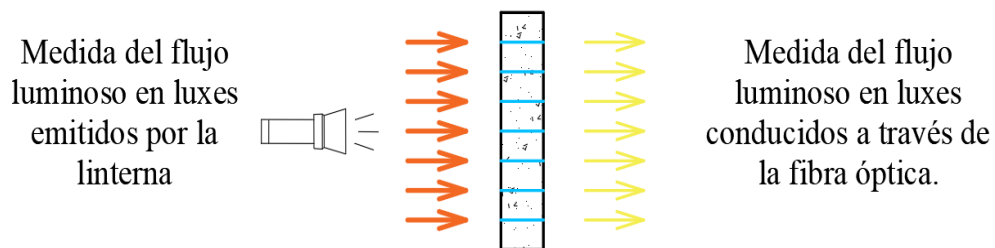


Figura 20: Prueba con luz artificial

Ensayos de resistencia según porcentaje de fibra añadida

La adición de fibras en la estructura del concreto liviano alterará sus propiedades mecánicas, entre ellas la resistencia a la compresión. Es por ello que, se sometió a las probetas ya fabricadas a compresión axial para así detallar una relación entre el porcentaje de fibra añadida y la resistencia. Esto, para encontrar un patrón de variación y establecer así un límite de fibra a añadir versus una resistencia mínima aceptable del concreto

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Caracterización del concreto liviano

4.1.1 Resistencia a la compresión axial

El diseño de concreto liviano con reemplazo total de agregado grueso por EPS ofrece, una resistencia a la compresión promedio de 71,8 kg/cm². Según la norma E.060 este resultado es aceptable. Por tanto, brinda un soporte admisible para la fibra óptica instalada en su estructura.

La figura 21, se presenta la variación de la resistencia a la compresión de los diferentes tipos de concreto elaborados. Las líneas de tendencia, están en función a la resistencia promedio de tres probetas probadas a la rotura en diferentes estados de maduración. Según los datos colectados, los valores decrecen considerablemente al ser retirado inicialmente el 40 por ciento del agregado grueso. La disminución de resistencia a la compresión axial, se debe a que el agregado grueso es el principal responsable de la resistencia del concreto.

La figura 22, muestra la variación promedio de la resistencia en (kg/cm²) de 3 testigos maduros (a los 28 días de fragua). La resistencia de la primera dosificación de concreto liviano se presenta aproximadamente como el 40.69 por ciento del concreto original. Los resultados se amplían en el capítulo X Anexo 6.

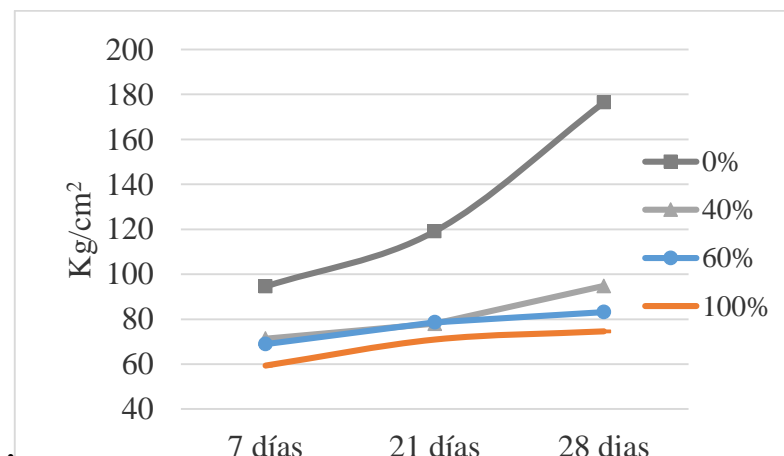


Figura 21: Variación de la resistencia promedio según proporción de EPS agregado

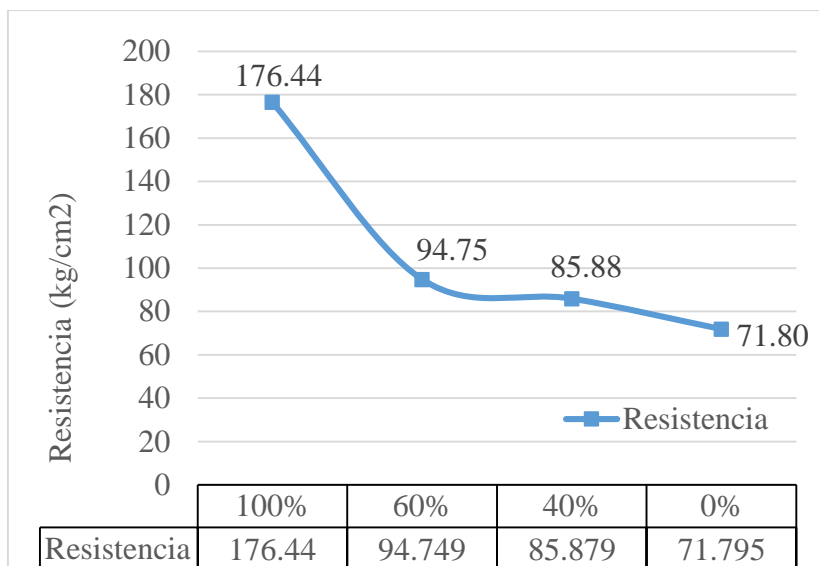


Figura 22: Variación de la resistencia promedio de concreto a los 28 días

4.1.2 Peso específico del concreto liviano

En la figura 23 se puede apreciar una disminución de entre 130-150 kg/m³ por cada 20 por ciento de agregado grueso reemplazado. Los resultados de la figura 25 indican que en el caso del 100 por ciento de ausencia del agregado grueso el peso específico del concreto arroja un valor de 1605 kg/cm³. Este valor está por debajo de los 1850 kg/m³ que el *Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete* Norma ASTM C 567 que considera como máximo para considerar un concreto como ligero.

Por otro lado, se puede afirmar que el agregado grueso confiere alrededor del 30 por ciento peso de un concreto normal. Los resultados se amplían en el capítulo X Anexo

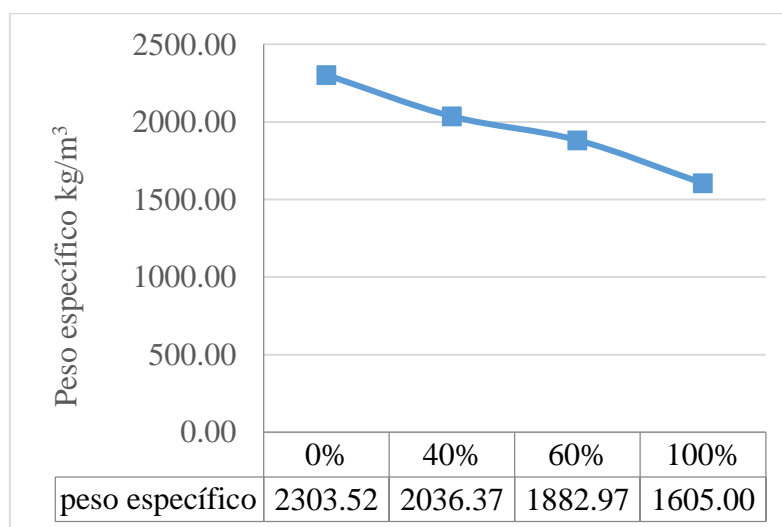


Figura 23: Variación del peso específico de acuerdo a la proporción de EPS agregado

4.1.3 Resistencia a la compresión diagonal

Se elaboraron 12 paneles de concreto liviano, a fin de comprobar su resistencia a la compresión diagonal. Los paneles elaborados de forma cuadrática tuvieron 230mm de lado y un espesor de 85mm en promedio. Se evaluaron los esfuerzos máximos diagonales, así como el comportamiento del concreto al aplastamiento. Se tuvo un mínimo de 17.81 kg/cm² y un máximo de 30.43 kg/cm². Los resultados de los 12 ensayos practicados se amplían en el capítulo X Anexo 8.

4.1.4 Pruebas de luz en testigos traslúcidos

En esta etapa de la investigación se decidió usar testigos de concreto liviano cúbicos de 150 mm de lado. Se utilizaron en total 27 testigos de concreto, con tres diferentes porcentajes de concentración de FOP. Una vez estos testigos o probetas estuvieron sólidas, se procedió a realizar las mediciones de luz incidente y luz pasante a través de cada probeta.

Se efectuaron las mediciones de luz en un cuarto oscuro a fin de concentrar las medidas de luz sobre las probetas. Se usó una linterna de 10,000 lúmenes de luz blanca con capacidad de enfoque (Ver especificaciones técnicas en el Anexo 15) y el instrumento de medición usado fue un luxómetro (Ver especificaciones técnicas en el Anexo 14) de 20,000 luxes de capacidad.

El procedimiento de medición fue el siguiente:

- Identificación del código del cubo de concreto.
- Colocación de la linterna de forma alineada con las fibras de FOP
- Enfoque de la luz en una de las caras de la probeta.
- Medición de la luz que da a la cara anterior proveniente de la linterna
- Medición de la luz que da a la cara posterior o que viaja a través de la fibra FOP.
- Repetición del procedimiento intercalando ambas caras tal que de una probeta se pueda obtener cuatro mediciones, dos anteriores y dos posteriores.
- Los resultados obtenidos pueden ser apreciados en el Anexo 09 Resultados de los ensayos de traslucidez.

4.1.5 Pruebas con probetas de 1 por ciento de contenido de FOP

Del análisis estadístico realizado sobre la cantidad de luz que pasa por los bloques (en luxes) se presentan los resultados en la tabla 6:

Tabla 6: Datos estadísticos en probetas de 1% de FOP

Medida	Valor
<i>Media (\bar{X})</i>	4.09
<i>Desv. Est (σ)</i>	0.98
<i>Mediana (M_e)</i>	3.75
<i>Moda (M_o)</i>	3.10
<i>Valor máx</i>	6.30
<i>Valor mín</i>	3.10

El intervalo de paso de luz resultante, para este tipo de testigos fue de entre 3.10 y 6.30 luxes, mientras que la medición más recurrente fue de 3.1 luxes. La mitad de los datos recopilados están por arriba del valor de 3.75 luxes y el restante se sitúa por debajo del mismo (mediana). En promedio las mediciones se ubican en un valor de 4.09 luxes. Asimismo, se desvían de 4.09, en promedio 0.98 unidades de la escala.

Finalmente, ningún dato mostró valores nulos o cercanos al cero. Según el análisis, mediante el uso de la distribución normal, la mayor probabilidad de translucidez con valores de entre 3.11 y 5.07 luxes es de 68.26 por ciento para el 1 por ciento de concentración de FOP en testigos de concreto liviano. En la siguiente figura muestra la distribución normal antes mencionada.

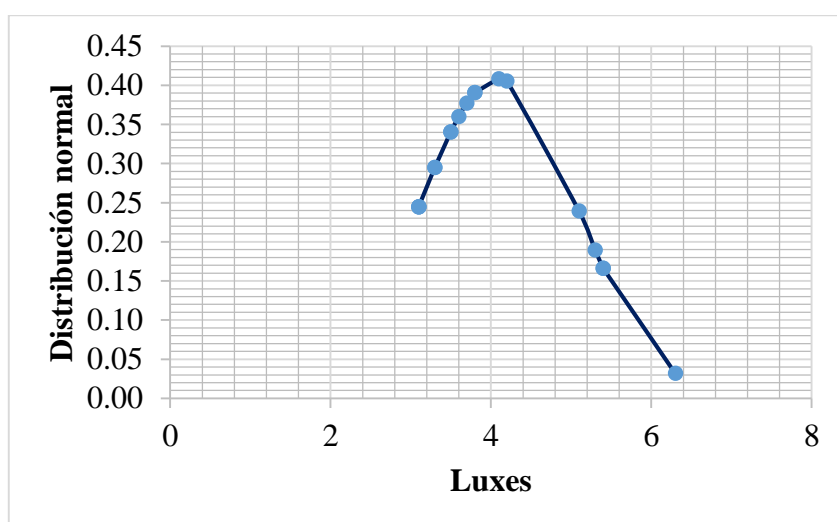


Figura 24: Distribución normal (campana de Gauss) en bloques al 1% de FOP

4.1.6 Pruebas con probetas de 2 por ciento de contenido de FOP

Del análisis estadístico realizado sobre la cantidad de luz que pasa por los bloques (en luxes) se presentan los resultados en la tabla 7:

Tabla 7: Datos estadísticos en probetas de 2% de FOP

Medida	Valor
<i>Media</i> (\bar{x})	4.51
<i>Desv. Est</i> (σ)	2.39
<i>Mediana</i> (<i>Me</i>)	3.75
<i>Moda</i> (<i>Mo</i>)	Ninguna
<i>Valor máx</i>	9.00
<i>Valor mín</i>	1.00

El intervalo de paso de luz resultante, para este tipo de testigos fue de entre 1.0 y 9.0 luxes. La mitad de los datos recopilados están por arriba del valor de 3.75 luxes y el restante se sitúa por debajo del mismo (mediana). En promedio las mediciones se ubican en un valor de 4.51 luxes. Asimismo, se desvían de 4.51, en promedio, 2.39 unidades de la escala.

Finalmente, ningún dato mostró valores nulos o cercanos al cero. Según el análisis mediante distribución normal, la mayor probabilidad de translucidez con valores de entre 2.12 y 6.90 luxes es de 68.26 por ciento para el 2 por ciento de concentración de FOP en testigos de concreto liviano. En la siguiente figura se muestra la distribución normal antes mencionada.

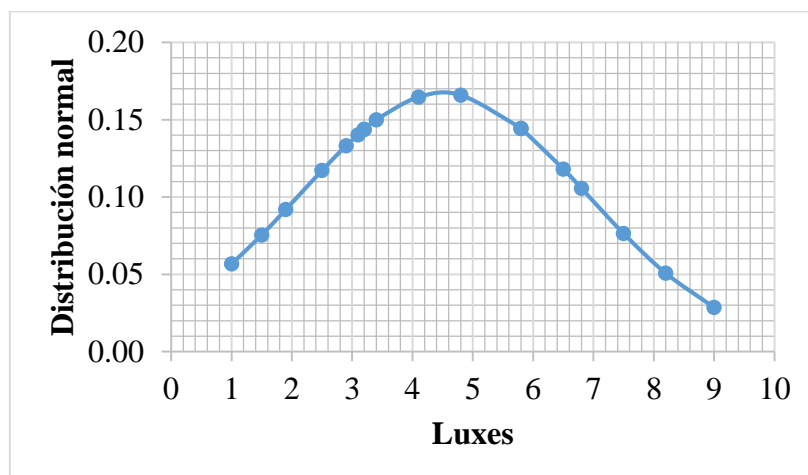


Figura 25: Distribución normal (campana de Gauss) en bloques al 2 por ciento de FOP

4.1.7 Pruebas con probetas de 3% de contenido de FOP

Del análisis estadístico realizado sobre la cantidad de luz que pasa por los bloques (en luxes) se presentan los resultados en la tabla 8:

Tabla 8: Datos estadísticos en probetas de 3% de FOP

Medida	Valor
<i>Media</i> (\bar{x})	6.89
<i>Desv. Est</i> (σ)	1.93
<i>Mediana</i> (M_e)	6.70
<i>Moda</i> (M_o)	4.70
<i>Valor máx</i>	10.20
<i>Valor mín</i>	3.90

El intervalo de paso de luz resultante, para este tipo de testigos fue de entre 3.90 y 10.20 luxes. La mitad de los datos recopilados están por arriba del valor de 6.70 luxes y el restante se sitúa por debajo del mismo (mediana). En promedio las mediciones se ubican en un valor de 6.89 luxes. Asimismo, se desvían de 6.89, en promedio, 1.93 unidades de la escala.

Finalmente, ningún dato mostró valores nulos o cercanos al cero. Según el análisis mediante distribución normal, la mayor probabilidad de translucidez con valores de entre 4.97 y 8.82 luxes es de 68.26 por ciento para el 3 por ciento de concentración de FOP en testigos de concreto liviano. En la siguiente figura se muestra la distribución normal antes mencionada.

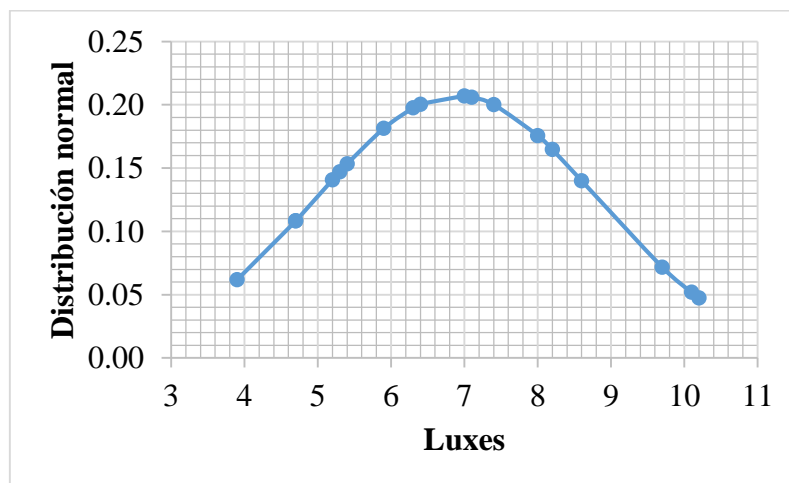


Figura 26: Distribución normal (campana de Gauss) en bloques al 3 por ciento de FOP

Las medidas obtenidas y su respectivo análisis pueden ser apreciadas en el Anexo 09 Resultados de los ensayos de translucidez.

4.2 Interpretación de resultados

De los resultados obtenidos, se han tomado dos datos primordiales, (a juicio del investigador) la luz pasante y el porcentaje de translucidez según el porcentaje de FOP en el concreto. Ambos en la forma de promedios son presentados en la tabla 9.

Tabla 9.: Valores promedio de paso de luz

Contenido de FOP	Luz promedio que pasa (luxes)	Porcentaje promedio que pasa
Tipo 1%	4.09	0.097%
Tipo 2%	4.51	0.103%
Tipo 3%	6.89	0.165%

En la tabla 10 se puede apreciar que según aumenta la cantidad de fibras de FOP mayor es la translucidez del bloque de concreto liviano. Asimismo, el porcentaje de luz que pasa, aumenta hasta casi el doble en el caso del tipo 3 con respecto al 1. Esto quiere decir que, por ejemplo, por cada 10,000 luxes que inciden en el bloque del tipo 1, 2 y 3 pasarán aproximadamente 19.35, 20.52, 33.06 luxes respectivamente. Por otra parte, y tomando en cuenta, que la iluminación diurna en cielo nublado llega hasta los 25,000 luxes y con cielo despejado hasta los 120,000 luxes. Queda claro, que los bloques pueden aportar luz natural sin problema alguno. Esto último, con la condición de ser colocados en tabiques externos en contacto directo con la luz solar.

Por tanto, y según lo experimentado es posible afirmar que los bloques translúcidos podrán aportar luz natural mediante la iluminación híbrida en ambientes cerrados y así contribuir con la iluminación artificial existente.

Tabla 10: Resistencia en función al contenido de fibra

Contenido de FOP	Resistencia promedio en kg/cm^2	Resistencia inicial en kg/cm^2
1%	69.49	71.8
2%	61.57	71.8
3%	53.21	71.8

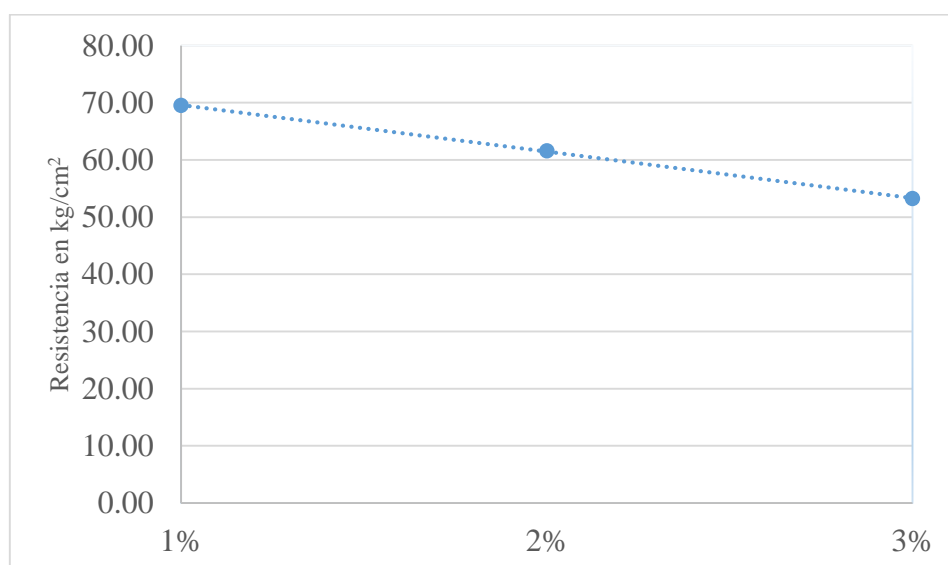


Figura 27: Curva de disminución de resistencia

En la tabla 10, también, se puede apreciar la variación de resistencia a la compresión del concreto liviano en función a su contenido de fibra óptica. Según los ensayos realizados en la etapa de diseño de concreto, (ver tabla 35) la resistencia arrojó un valor promedio de 71.8 kg/cm^2 . En la figura 27 puede verse que la resistencia a la compresión disminuye a una tasa de 8.15 kg/cm^2 por cada 1 por ciento de fibra agregada llegando, por ejemplo, a una resistencia media de 53.21 kg/cm^2 y 3 por ciento de fibra óptica plástica agregada.

Como referencia, la norma E.070 ALBAÑILERÍA presenta una resistencia mínima aceptable de 50 kg/cm^2 en bloques de concreto tipo P para muros armados. Esto quiere decir que el máximo de fibra que podría contener el concreto diseñado sería de 4 por ciento y tener una eventual resistencia de 46.56 kg/cm^2 . Esto último coincide con las características del concreto traslúcido “Litracón” (Ver ítem 3.5 Tecnología del concreto traslúcido) el cual usa hasta un 4 por ciento de contenido de FOP en su interior.

V. CONCLUSIONES

1. Se ha registrado un porcentaje creciente de luz pasante por los bloques de concreto liviano en función al incremento de cantidad de fibra óptica plástica agregada. La mayor cantidad de luz pasante se ha obtenido con los bloques de concreto liviano elaborados al 3 por ciento de FOP agregado, arrojando una traslucidez de 0.165 por ciento y 6.89 luxes de iluminación en promedio.
2. El porcentaje de traslucidez por bloque es menor al 1 por ciento, por lo que resulta imprescindible que la luz pasante provenga de una fuente solar. También, debe considerarse que la cantidad de iluminación será mayor cuantas más fibras existan en el concreto.
3. Partiendo de un concreto de 175 kg/cm², la resistencia a la compresión se redujo hasta 71.8 kg/cm², lo cual es aceptable, según la norma E.060 Concreto. Asimismo, el concreto elaborado puede ser considerado como liviano, pues su peso específico promedio es de 1605 kg/m³. Este valor se ajusta a la norma ASTM C 567, que define a los concretos livianos como aquellos que no exceden un peso específico de 1850 kg/m³.
4. No se ha registrado incompatibilidad entre el concreto liviano y la fibra óptica plástica instalada. No hay evidencia de desgaste, abrasión o daño físico visual en las fibras. Se concluye que el concreto liviano ofrece una estructura sólida y segura para las fibras en su interior de tal forma que se encuentran fijas y con sus lados libres y aptos para recibir la luz del exterior.

VI. RECOMENDACIONES

1. En la etapa de elaboración de concreto liviano se alcanzaron resistencias a la compresión de aproximadamente 71.8 kg/cm². Es importante precisar que no fue objeto de este estudio alcanzar concretos livianos estructurales los cuales según la normativa deben tener como mínimo una calidad de 175 kg/cm². Sería recomendable ampliar, posteriormente, los alcances de la investigación a la obtención de concretos livianos de mayor resistencia para así incrementar la participación de elementos traslúcidos en la estructura.
2. Los testigos de concreto liviano fueron elaborados de forma manual. A fin de replicar este proceso de forma masiva y controlada, se puede recurrir a la tecnología del shotcrete (concreto lanzado). Este tipo de concreto es lanzado a alta velocidad por una boquilla; sus componentes son similares a los del concreto liviano (arena, cemento y agua, materiales finos, y fibras de refuerzo, entre otros). Se podrían elaborar moldes con fibras ya instaladas, a los que se aplicaría el concreto liviano a presión tal que se llene el encofrado del panel. Este proceso, podría ser estudiado a detalle en futuras investigaciones.
3. La investigación se realizó usando FOP de 0.75mm de diámetro debido a su disponibilidad. Esta fibra óptica ofreció relativa facilidad en el manejo y trabajo durante la elaboración de probetas de concreto liviano. Dado que los porcentajes de traslucidez obtenidos son del orden del 0.165 por ciento se recomienda empleo de fibras de calibre superior. En el mercado existen fibras de 1 y 2 mm de diámetro las cuales podrían usarse para mejorar las prestaciones obtenidas.
4. Examinando los bloques con mayor traslucidez se ha comprobado que en algunas porciones del bloque hay mayor densidad de FOP (más de 10 fibras juntas). Por el contrario, los bloques con menor traslucidez presentan, en su mayoría, fibras aisladas. Por tanto, es necesario, un mejor acomodo de fibras en el proceso de fabricación.

5. Para la elaboración del concreto liviano se decidió usar poliestireno expandido frente a otros materiales como la piedra pómez. Esta decisión, recae en el hecho que dicho material es de origen natural, mientras que el poliestireno expandido es artificial que se presenta como elemento ajeno y contaminante en el ecosistema. En atención, a las nuevas leyes medioambientales se sugiere extender, a posteriori, la experimentación con poliestireno de segundo uso o reciclado.
6. De acuerdo a la ley N° 30884 del MINAM que cual regula el plástico de un solo uso y recipientes o envases descartables el poliestireno expandido presenta un problema pues su llegada al ecosistema perturba los ciclos naturales.
7. A fin de manejar esta situación el concreto liviano resulta una buena alternativa de uso del poliestireno sin que sea liberado al medio ambiente. Dentro de sus propiedades el poliestireno expandido libre es de difícil descomposición natural y que se dispersa fácilmente en el ambiente por su bajo peso específico. La idea de confinarlo en paneles de tabiquería podría resultar una opción para limitar su ingreso al ecosistema.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ABANTO C., F. 1997. Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas). San Marcos. Perú. 242 pp.

ALFONSO S., PAROLA I. 2018 Desarrollan una nueva fibra óptica de plástico. Artículo Columna Cero Ciencia. Consultado el 18 de abril 2019. Disponible en <https://columnacero.com/ciencia/10056/desarrollan-una-nueva-fibra-optica-de-plastico/>

ANDIMA (Asociación Nacional de Industriales de Materiales Aislantes). 2007 Soluciones con Aislamiento de Poliestireno Expandido (EPS). 67p.

ACI (American Concrete Institute). 1977.; traducido por el IMCyC (Instituto mexicano del cemento y el concreto). 1978. Práctica recomendable para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto ACI 214-77.

ACI (American Concrete Institute). 2003. Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete ACI 213R-03 38p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) C567/C567M. 2014. Método Normalizado de Ensayo para la Determinación de la Densidad de Concreto Estructural Liviano.

ANAPE (Asociación nacional de poliestireno expandido de España). El poliestireno expandido y el medio ambiente. Madrid. España. 14pp. Disponible en <https://http://www.anape.es>.

BARBARÁN B. J, 2013. Materiales No tradicionales Concreto Translúcido (en línea). Revista Civilizate PUCP. Consultado el 01 Set. 2018. Disponible en <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/view/10131>

BARONA, M. 2004. El Concreto, de la de la traslucidez a la transparencia. Revista Construcción y Tecnología. Volumen XV agosto 2004. Núm. 195, México. Pp.46.

GARCIA C., SAVAL J M., BAEZA F., TENZA AT. (2008) Prácticas de Materiales de Construcción I.T.O.P – Práctica N° 3. Universidad de Alicante. Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10998/3/Pr%C3%A1ctica%20N%C2%BA%203%20_Granulometria%20I_.pdf

DELGADILLO H, E. 2014. Disminución de la contaminación ambiental, mediante el uso eficiente de la iluminación híbrida diurna en Lima. Tesis Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de Ingeniería.

EBERLE P. 2017. Estudio y análisis de fibras ópticas de plástico para transmisión de medios multimedia en entornos HAN. Monografía en Ingeniería electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Bogotá, Colombia. 89pp.

FACULTAD INGENIERÍA INDUSTRIAL Laboratorio de Producción. Edición 2008-I. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito - ILUMINACION PROTOCOLO Laboratorio de condiciones de trabajo.

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). 2007. Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios. Madrid España.

HERNÁNDEZ S., R.; BAPTISTA L. P.; FERNANDEZ C. C. 2014. Metodología de la investigación. Sexta edición. Editorial Mc Graw Hill Education. Ciudad de México, México 600p.

IMCyC (Instituto mexicano del cemento y del concreto). Poliestireno en la fabricación del concreto. Revista Construcción y Tecnología. Volumen III diciembre 2013. Núm. 9, México. Pp.61.

KEYENCE. Guía de sensores para fábricas clasificados por principios, Fundamentos del sensor. Consultado 20 de diciembre del 2018. Disponible en: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/fiber/info/>

MAXEY, CURT, OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY 2013 Hybrid Solar Lighting.
Consultado el 01 Set. 2018

Disponible en: <https://www.photonics.com/Article.aspx?AID=33892>

MINISTERIO DEL AMBIENTE – MINAM- LEY N° 30884 LEY QUE REGULA EL PLÁSTICO DE UN SOLO USO Y LOS RECIPIENTES O ENVASES DESCARTABLES.

MINISTERIO DEL AMBIENTE - Medidas de Ecoeficiencia para el Sector Público
DECRETO SUPREMO N° 009-2009-MINAM - Artículo 4°.- Medidas de Ecoeficiencia -
4.1.2 Ahorro de energía. Ítems b y c.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS - Decreto Supremo N° 064-2010-EM. Política Energética Nacional del Perú 2010-2040.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS - Medidas para el ahorro de energía en el sector público – D.S. 034-2008 – EM. 2008

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS - Ley de promoción del uso eficiente de la Energía
Ley N° 27345. 2000.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO 2015. Decreto Supremo que aprueba el Código Técnico de Construcción Sostenible decreto supremo N° 015-2015-VIVIENDA

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO 2014. Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética DECRETO Aprobado por Decreto Supremo N° 006-2014-VIVIENDA. p.50.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO 2016. Resolución ministerial N° 343-2016-VIVIENDA. Anexo Memoria Descriptiva General del Sistema de Viviendas Prefabricadas PRE-LIMA p9.

NORMA E.070 ALBAÑILERÍA (2006) aprobada por RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 011-2006-VIVIENDA.

Norma ISO 1920-3 Testing of concrete – Making and curing test specimens (Ensayos de concreto – Elaboración y curado de especímenes de prueba).

Normas Técnicas Complementarias Oficiales de México (NTC-C) (2004)

NTCh (Norma chilena oficial) 1070.1984. Aislación térmica - Poliestireno expandido – Requisitos.

NTG (Norma técnica guatemalteca) 41017-h13 “Método de ensayo para la determinación de la densidad del concreto estructural liviano”.

NTP (Norma técnica peruana) 399.621 Unidades de Albañilería. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería. 2004.

NTP 339.034.1999 - Ensayo para determinar la resistencia a la compresión.

NTP 399.600. Unidades de albañilería. 2017. Bloques de concreto para uso no estructural. Requisitos.

QUIMINET (2005). Todo sobre el Poliestireno. Consultado el 16 de Octubre del 2019. Disponible en <https://www.quiminet.com/articulos/todo-sobre-el-poliestireno-3337.htm>

RODRIGUEZ A. 2012. Fibra Óptica, qué es y cómo funciona: fibra óptica hoy (en línea, sitio web) Consultado 02 Set. 2018. Disponible en <https://www.fibraopticahoy.com/fibra-optica-que-es-y-como-funciona/>.

RODRIGUEZ CHICO, H.E 2017. Concreto Liviano a Base de Poliestireno Expandido para la Prefabricación de Unidades de Albañilería No Estructural – Cajamarca. Tesis Ing. Civil, Universidad Nacional de Cajamarca. 207p.

SALVATIERRA CH., J. 2010. Optimización De La Fibra Óptica Nacional Para Soportar Al Tas Velocidades Tesis Lic. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería 79p.

TSUKAMOTO, Y. 2014 Plastic Optical Fiber standard. Plastic Molding Material Department, Mitsubishi Rayon Co., Ltd. 10p.

UNICON, 2018. Ficha técnica concreto liviano. 2p.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA - Directiva para la Gestión de la Ecoeficiencia en la Directiva N° 002 - 2018 - OGA – UNALM.

VARA H. A. 2008. LA TESIS DE MAESTRIA EN EDUCACION. Lima, Perú. 357p.

VASQUEZ PERES, S.F 2018. Diagnóstico del consumo y demanda de agua potable en el campus de la UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina) y propuestas de cobertura. Tesis Ing. Agrícola Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina. 160p.

VIDAL P. J.C 2006. Análisis del comportamiento del concreto con incorporación de fibras de polipropileno. Tesis Ing. Agrícola Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina. 160p.

Whitney R. W., Lee L. B., Miri P., Ram R. 2005. Manufacture of Perfluorinated Plastic Optical Fibers. 13p (en línea, sitio web) Consultado 16 Oct. 2019. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/f673/6866071dc084e98b0a279f44e189ac37affb.pdf>

VIII. ANEXOS

8.1 ANEXO 1: Resultados del análisis granulométrico de agregados

Tabla 11: Granulometría para muestra 1 de agregado fino

Malla	Abertura de malla en (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa
3/8"	9.5	1.5	0.3	0.3	99.7
Nº 4	4.75	40.7	8.16	8.46	91.54
Nº 8	2.36	96.3	19.31	27.78	72.22
Nº 16	1.18	99.2	19.9	47.67	52.33
Nº 30	0.58	93.8	18.81	66.49	33.51
Nº 50	0.3	88.5	17.75	84.24	15.76
Nº 100	0.15	68.3	13.7	97.93	2.07
FONDO		10.3	2.07	100	0.00
TOTAL		498.6		MF = 3.33	

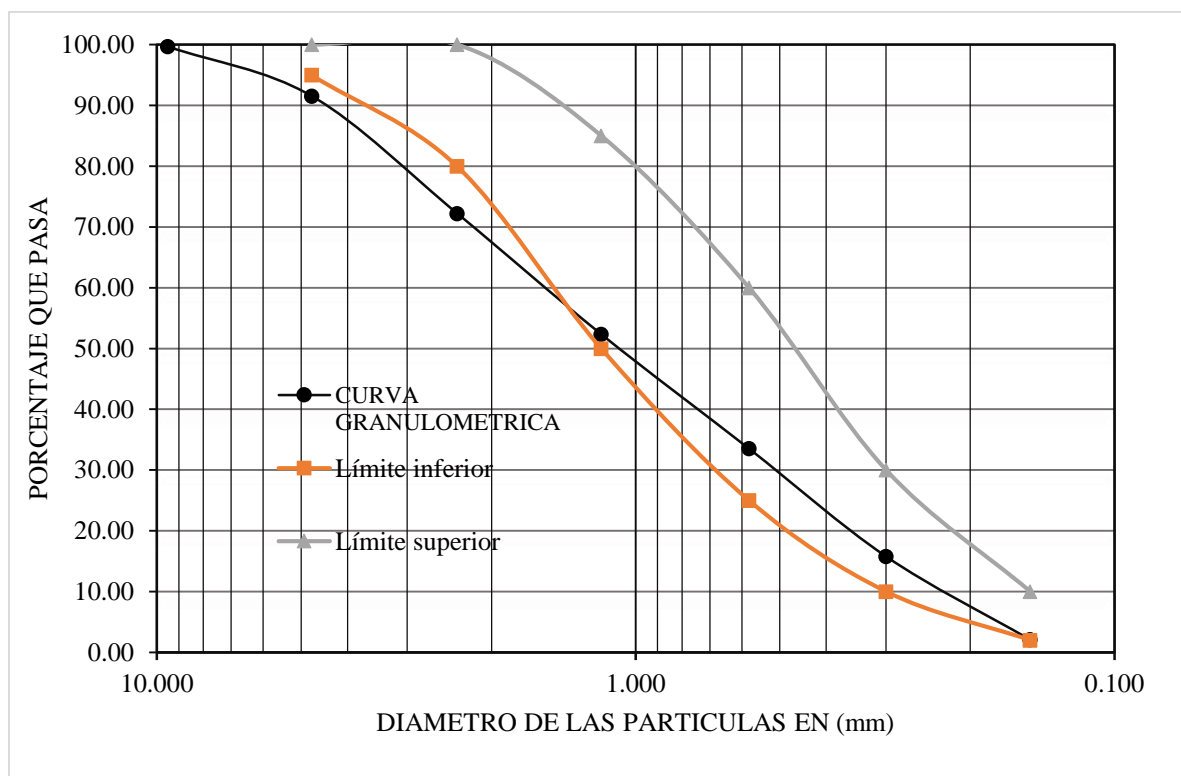


Figura 28: Curva granulométrica de muestra 1 de agregado fino

Tabla 12: Curva granulométrica de muestra 2 de agregado fino

Malla	Abertura de malla en (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa
3/8"	9.5	11.00	2.21	2.21	97.79
N° 4	4.75	26.30	5.28	7.49	92.51
N° 8	2.36	91.60	18.38	25.87	74.13
N° 16	1.18	106.70	21.41	47.28	52.72
N° 30	0.58	171.40	34.40	81.68	18.32
N° 50	0.3	67.50	13.55	95.22	4.78
N° 100	0.15	19.50	3.91	99.14	0.86
FONDO		4.30	0.86	100.00	0.00
TOTAL		498.30		MF = 3.59	

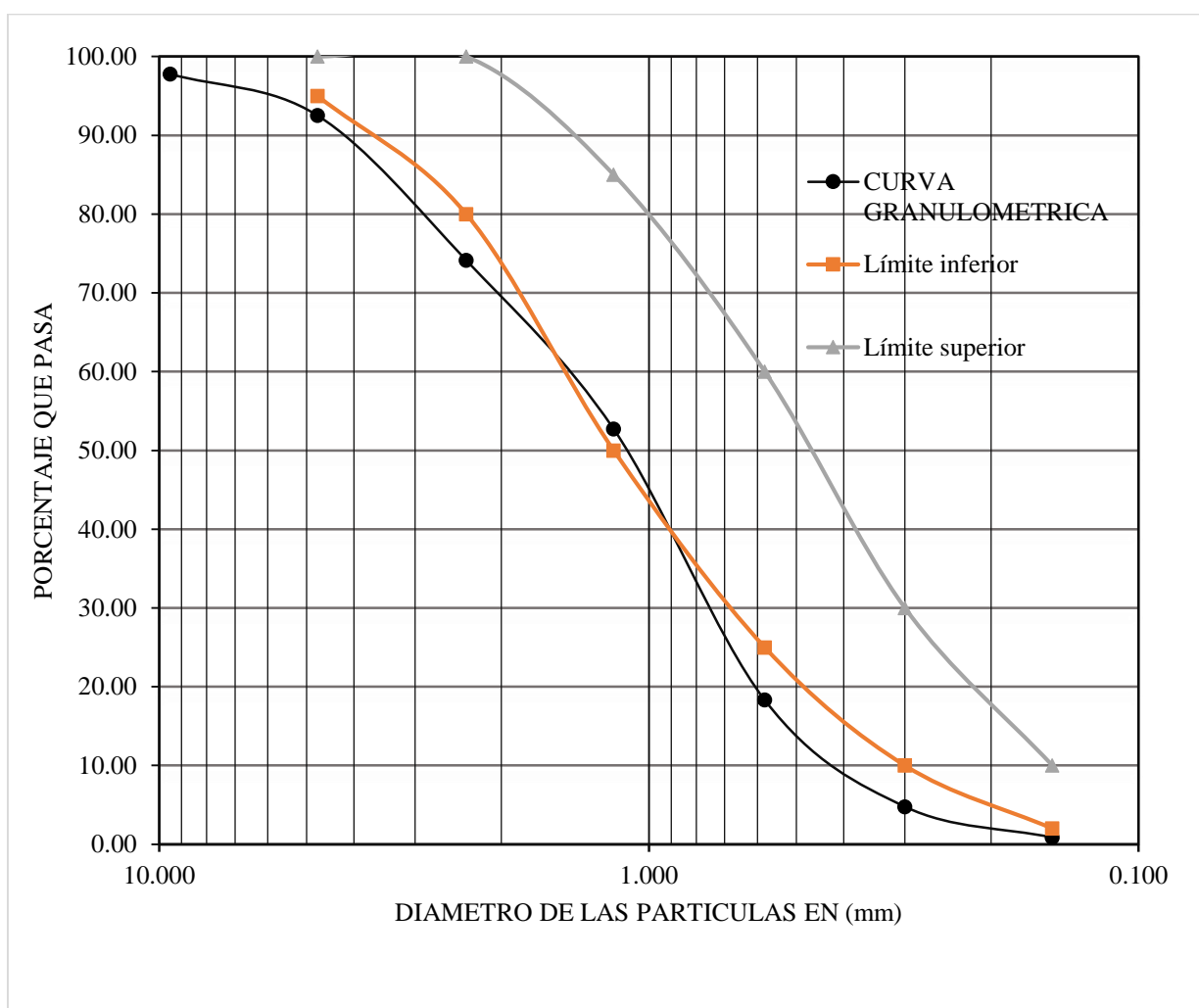


Figura 29: Curva granulométrica de muestra 2 de agregado fino

Tabla 13: Granulometría para muestra 3 de agregado fino

Malla	Abertura de malla en (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.75	47.80	9.58	9.58	90.42
Nº 8	2.36	105.10	21.07	30.65	69.35
Nº 16	1.18	99.80	20.01	50.66	49.34
Nº 30	0.58	89.00	17.84	68.50	31.50
Nº 50	0.3	124.10	24.88	93.38	6.62
Nº 100	0.15	29.70	5.95	99.34	0.66
FONDO		0.66	100.00	0.00	
TOTAL		498.80		MF = 3.52	

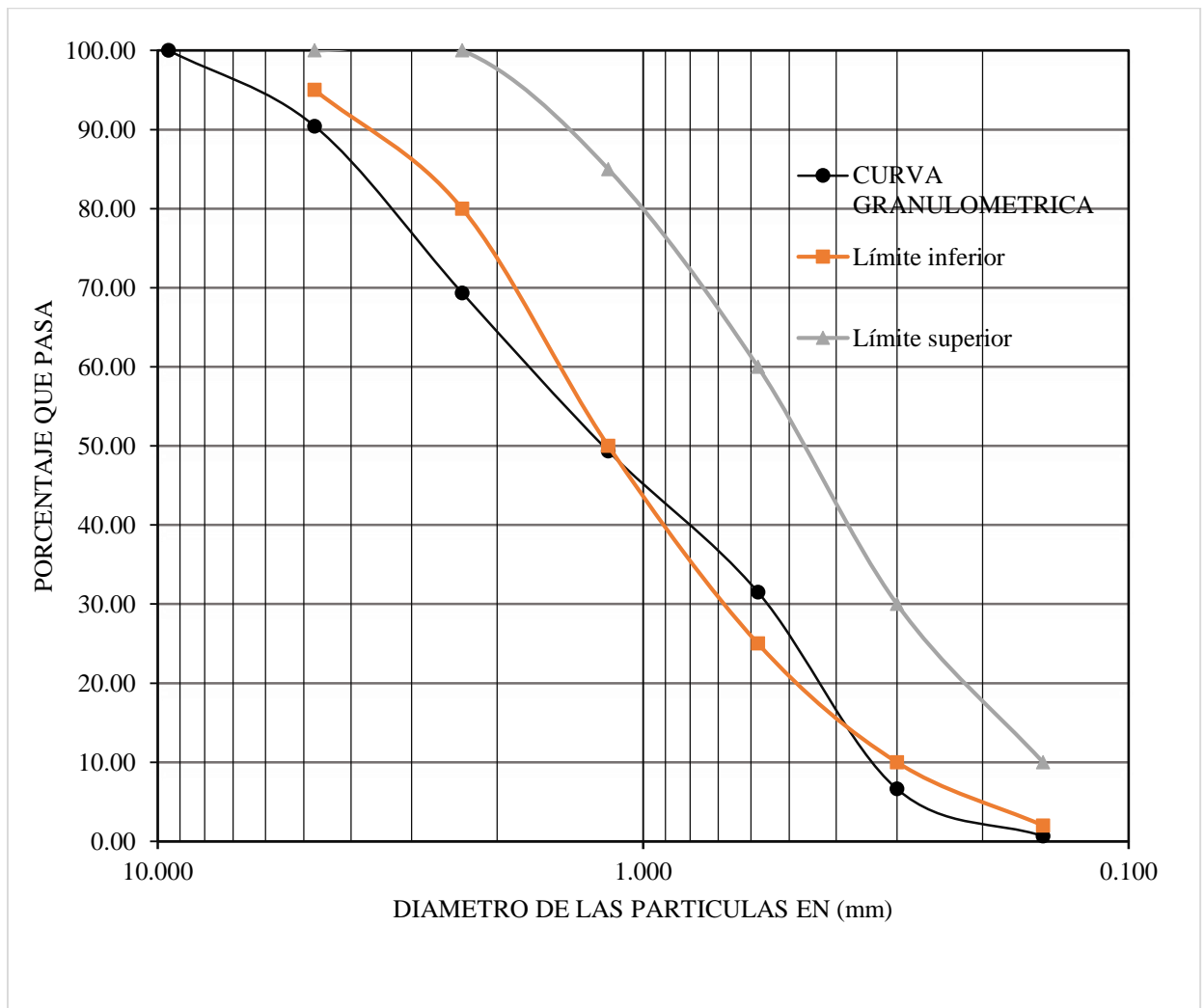


Figura 30: Curva granulométrica de muestra 3 de agregado fino

Tabla 14: Granulometría muestra 1 de agregado grueso

Malla	Abertura de malla en (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	386.00	12.88	12.88	87.12
¾"	19.05	1380.00	46.03	58.91	41.09
½"	12.70	1106.00	36.89	95.80	4.20
⅜"	9.53	112.00	3.74	99.53	0.47
FONDO		14.00	0.47	100.00	0.00
TOTAL		2998.00			

TMN = ¾"

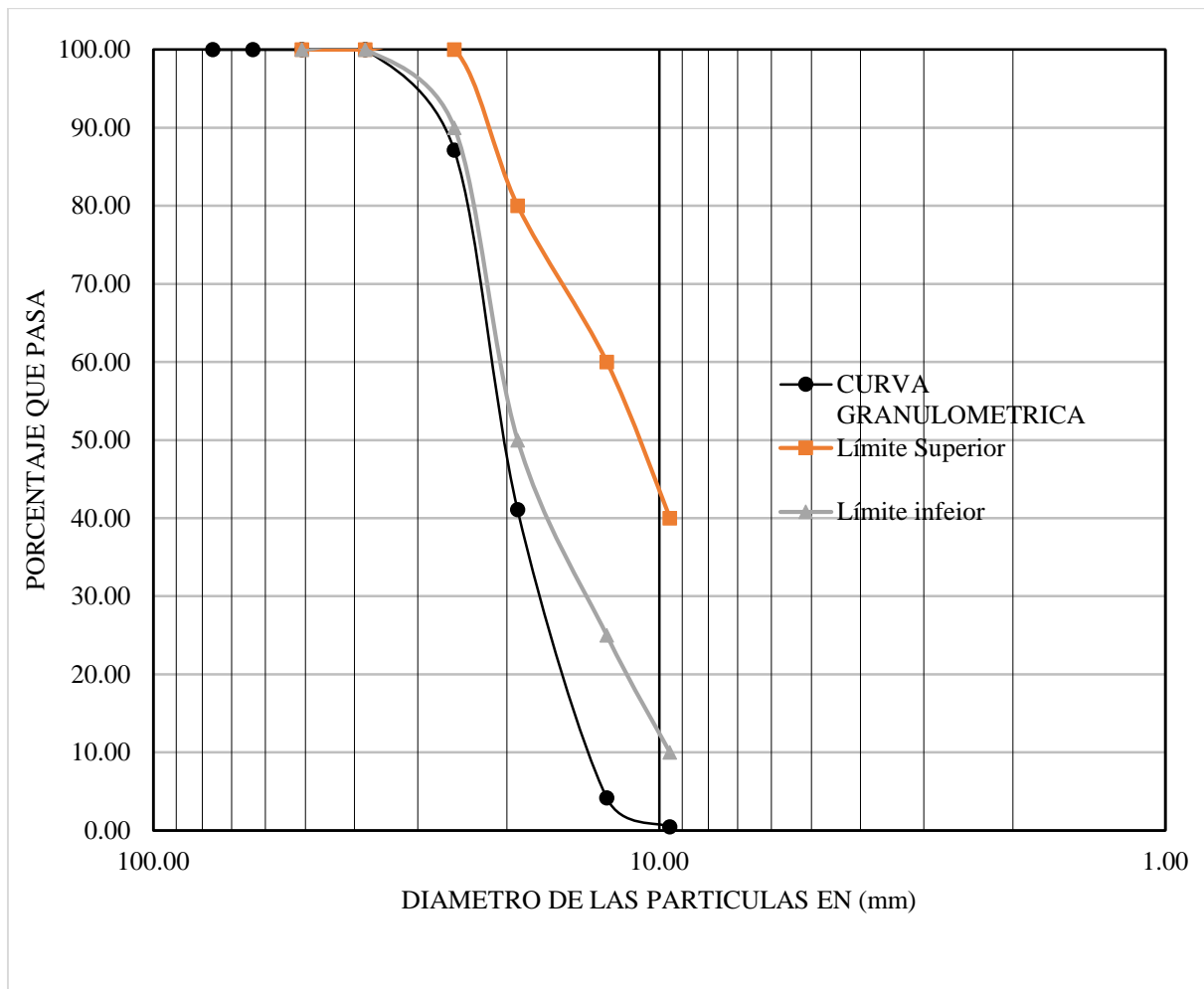


Figura 31: Curva granulométrica muestra 1 de agregado grueso

Tabla 15: Granulometría muestra 2 de agregado grueso

MALLA	ABERTURA DE MALLA EN (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2½"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1½"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	294.00	9.81	9.81	90.19
¾"	19.05	1520.00	50.70	60.51	39.49
½"	12.70	1082.00	36.09	96.60	3.40
⅜"	9.53	80.00	2.67	99.27	0.73
FONDO					
TOTAL		2998.00		TMN = ¾"	

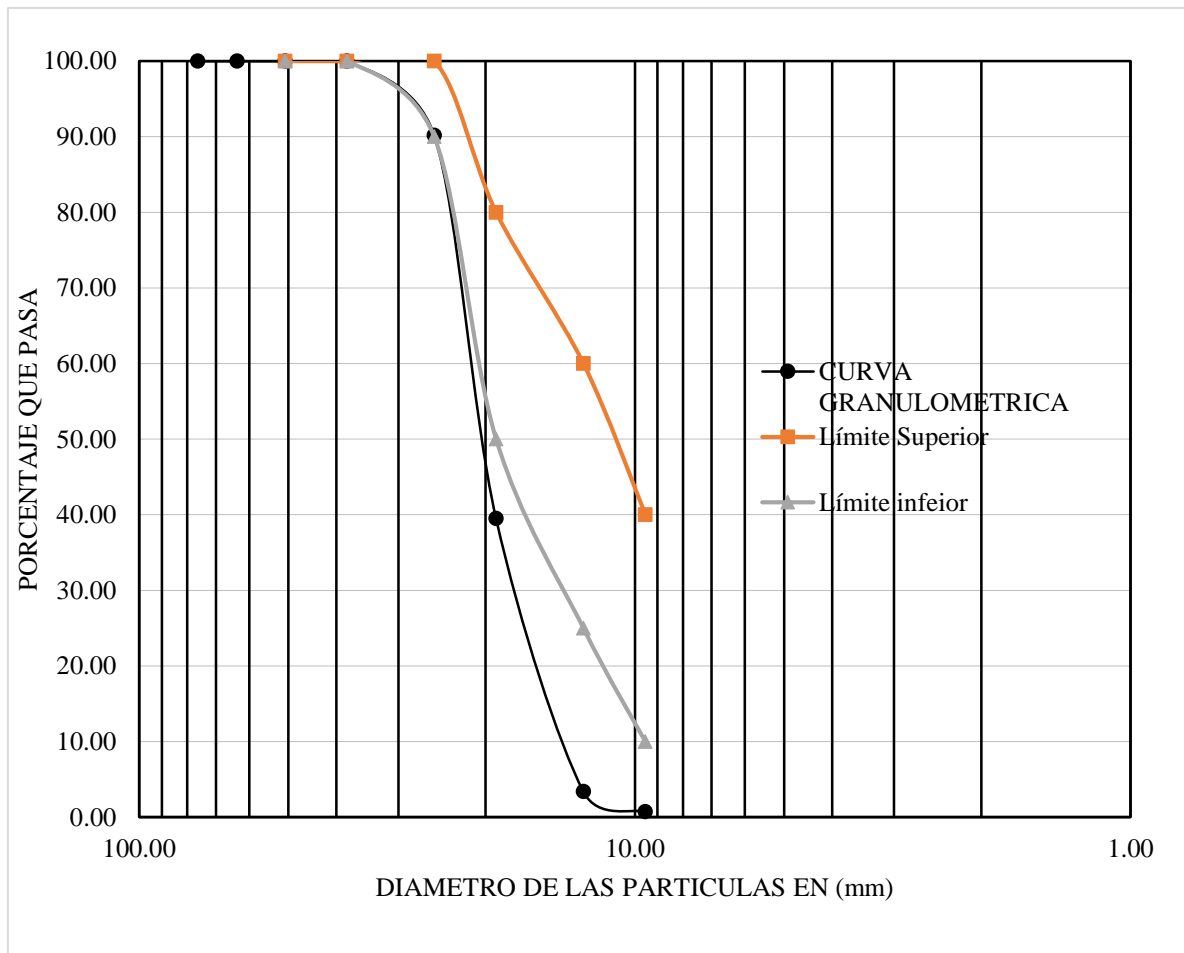


Figura 32: Curva granulométrica muestra 2 de agregado grueso

Tabla 16: Granulometría muestra 3 de agregado grueso

MALLA	ABERTURA DE MALLA EN (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	76.20	76.20	0.00	0.00	0.00
2½"	63.50	63.50	0.00	0.00	0.00
2"	50.80	50.80	0.00	0.00	0.00
1½"	38.10	38.10	0.00	0.00	0.00
1"	25.40	25.40	422.00	14.05	14.05
¾"	19.05	19.05	1424.00	47.40	61.45
½"	12.70	12.70	1076.00	35.82	97.27
⅜"	9.53	9.53	76.00	2.53	99.80
FONDO			6.00	0.20	100.00
TOTAL		3004.00		TMN = ¾"	

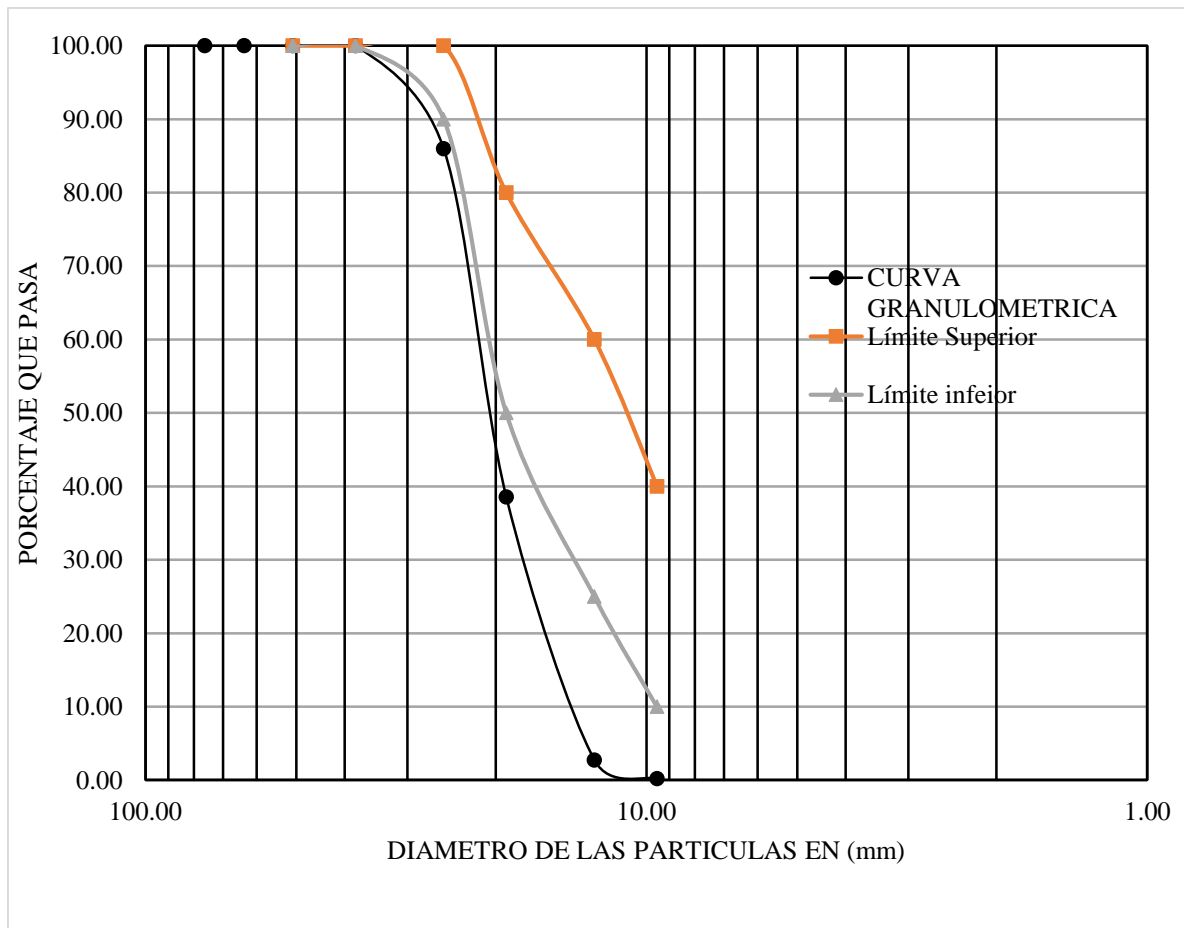


Figura 33: Curva granulométrica muestra 3 de agregado grueso

8.2 ANEXO 2. Peso específico y porcentaje de absorción de agregados.

NTP 400.021 y 400.022

Tabla 17: Resultados de los ensayos para agregado fino muestra 1

W	: Peso seco del agregado	492.5 g
W1	: Muestra saturada con superficie seca del agregado	500.0 g
W2	: Picnómetro + agua	695.2 g
W3	: Picnómetro + agua + muestra	1004.2 g

Tabla 18: Resultados de los ensayos para agregado grueso muestra 1

Wseco	: Peso seco del agregado	2988.0 g
Ws	: Muestra saturada con superficie seca del agregado	3000.0 g
Wa	: Peso de la muestra en el agua	1952.6 g

Tabla 19: Resultados de los ensayos para agregado fino muestra 2

W	: Peso seco del agregado	492.1 g
W1	: Muestra saturada con superficie seca del agregado	500.0 g
W2	: Picnómetro + agua	638.8 g
W3	: Picnómetro + agua + muestra	948.9 g

Tabla 20: Resultados de los ensayos para agregado grueso muestra 2

Wseco	: Peso seco del agregado	2986.0 g
Ws	: Muestra saturada con superficie seca del agregado	3000.0 g
Wa	: Peso de la muestra en el agua	1951.3 g

Tabla 21: Resultados de los ensayos para agregado fino de muestra 3

W	: Peso seco del agregado fino	492.7 g
W1	: Muestra saturada con superficie seca del agregado	500.0 g
W2	: Picnómetro + agua	695.2 g
W3	: Picnómetro + agua + muestra	1005.3 g

Tabla 22: Resultados de los ensayos para agregado grueso muestra 3

Wseco	: Peso seco del agregado	2986.0 g
Ws	: Muestra saturada con superficie seca del agregado	3000.0 g
Wa	: Peso de la muestra en el agua	1951.8 g

Tabla 23: Resultados para peso específico y absorción para agregado fino

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso específico (g/cm ³)	2.58	2.59	2.59	2.59
% Absorción	1.52	1.61	1.48	1.54

Tabla 24: Resultados para peso específico y absorción para agregado grueso

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso específico (g/cm ³)	2.85	2.85	2.85	2.85
% Absorción	0.40	0.47	0.47	0.45

8.3 ANEXO 3. Determinación del peso volumétrico- de agregados.

NTP 400.017.

Tabla 25: Resultados para peso volumétrico para muestras de agregado fino

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso volumétrico suelto (kg/m ³)	1538.39	1489.34	1529.86	1519.19
Peso volumétrico compacto (kg/m ³)	1723.94	1721.80	1721.80	1722.51

Tabla 26: Resultados para peso volumétrico para muestras de agregado grueso

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso volumétrico suelto (kg/m ³)	1452.37	1406.16	1431.05	1429.86
Peso volumétrico compacto (kg/m ³)	1598.04	1600.24	1601.66	1599.98

8.4 ANEXO 4. Determinación del contenido de humedad

NTP 339.185.

Tabla 27: Resultados de Porcentaje de humedad para agregado fino

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Agregado fino	2.40	2.44	2.15	2.33
Agregado grueso	0.13	0.20	0.27	0.20

8.5 ANEXO 5. Diseño de mezcla de concreto método ACI 211.1

Diseño de concreto de resistencia $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

Datos:

- $F'c = 175 \text{ kg / cm}^2$
- Lugar de Obra: Laboratorio Prueba y ensayo de materiales - UNALM
- T. máximo nominal = TMN = 3/4"
- Tipo de construcción: bloques de concreto con fibra embebida
- Condiciones de obra: Materiales de calidad controlada, dosificación por volumen, supervisión especializada esporádica.
- Caracterización y calidad de los materiales: cemento tipo I: $P_c = 3,150 \text{ Kg/m}^3$

Tabla 28: Caracterización de los agregados

Parámetro	Agregado grueso	Agregado Fino
T.M.N.	3/4"	-
Módulo de finura (M.F.)	-	3.33
Peso unitario seco y compactado del γ_C (kg/m ³)	1599.98	1722.52
Peso unitario suelto γ_s (kg/m ³)	1429.86	1519.20
Peso específico (Pe) (kg/m ³)	2.85	2.59
% Humedad	0.20	2.33
% Absorción	0.45	1.54

Paso 1: Selección del asentamiento

La colocación de fibra óptica plástica durante el vaciado de concreto para formar bloques demanda de un valor de asentamiento alto. En este caso se ha decidido utilizar un asentamiento o "slump" de 6 pulgadas. Por tanto, se utilizará:

- **Asentamiento máximo = Slump 6 pulgadas**

Paso 2: Tamaño máximo nominal

- **TMN = 3/4"**

Paso 3: Estimación del agua de mezclado y cantidad de aire atrapado.

Datos: Slump de 6 pulg y T.M.N. 3/4".

Revenimiento, cm	Agua, kg/m ³ concreto para TMG, mm							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
De 2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aprox. aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
De 2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
De 7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
De 15 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	---
Promedio recomendado de aire por incluir por exposición								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Figura 34: Tabla para agua de mezclado y contenido de aire

Fuente: ACI 211.1-91 – Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto – IMCYC

- **Agua inicial según tabla 216 Kg/m³**

Paso 4: Relación agua/cemento (a/c)

Para hallar la relación a/c se calcula previamente la resistencia afectada por las condiciones de obra en la forma de un factor (f'_{cr}). Desde un punto de vista conservador se diseñará el concreto con un 15% (factor k) de resistencia adicional (f'_{cv}) a fin de asegurar la calidad deseada.

$$K = 15\%$$

$$f'_{cv} = K \times f'_c = 1.15 \times 175$$

$$f'_{cv} = 201.25 \text{ kg / cm}^2$$

Con los datos anteriores se busca la posible relación agua/cemento (a/c) en un rango comprendido entre 140 y 210:

Resistencia a la compresión a los 28 días Kg/cm ²	Relación agua / cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	--
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Figura 35: Correspondencia entre la relación agua / cemento

Fuente: ACI 211.1-91 Tabla 6.3.4(a); Diseño de mezclas de concreto - IMCYC

Interpolando:

	f'_{cv}	r a/c
	140.00	0.82
relación a/c = 0.70 →	201.25	r a/c
	210.00	0.68

Paso 5: Cálculo del contenido de cemento

De acuerdo a la tabla 11 el contenido de agua es 216 kg por un m³.

$$a/c = 0.70 = \frac{216}{\text{cemento}}$$

Por tanto; cemento = 309.68 Kg por m³

Paso 6: Estimación de la cantidad de agregado grueso

Para la estimación del agregado grueso se deben tener presente los siguientes datos a fin de poder utilizar la tabla 14

Módulo de finura = 3.33

T.M.N. = 3/4"

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Figura 36: Volumen de agregado grueso (m³)

Fuente: ACI 211.1-91 – Tabla 6.3.6 Diseño de mezclas de concreto - IMCYC

Extrapolando:

MF	Coefficiente
2.80	0.62
3.00	0.60
→ 3.33	0.567

Si γ_c del agregado grueso (AG) = 1599.98 Kg para 1 m³

Entonces:

$$\begin{aligned}\text{Agregado grueso (AG)} &= 0.567 \times 1599.98 \text{ Kg para } 1 \text{ m}^3 \\ &= 907.39 \text{ Kg para } 1 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Paso 7: Cálculo del contenido de agregado fino (A.F.)

De los datos:

A.F.	2590 kg/m ³
A.G.	2850 kg/m ³
Cemento	3150 Kg/m ³
Agua	1000 Kg/m ³

De la tabla 32: Cantidad de aire atrapado = 2,0 %

El volumen total de agregado fino se obtiene de la diferencia de todos los componentes ya determinados (agua, cemento, agregado grueso y aire) y la unidad de volumen en la que se diseña, en este caso un metro cúbico.

$$1 \text{ m}^3 = \text{Vol. Agregado grueso} + \text{Vol. Agregado fino} + \text{Vol. Agua} + \text{Vol. Aire.}$$

Teniendo en cuenta que:

$$\text{Volumen absoluto} = \frac{\text{Masa}}{\text{Peso específico}}$$

Entonces:

$$\text{➤ Volumen (AG)} = \frac{907.19 \text{ Kg}}{2850 \text{ Kg/m}^3} = 0.318 \text{ m}^3$$

$$\text{➤ Volumen cemento} = \frac{309.68 \text{ Kg}}{3150 \text{ Kg/m}^3} = 0.098 \text{ m}^3$$

- Volumen agua = $\frac{216.00 \text{ kg}}{1000 \text{ Kg/m}^3} = 0.216 \text{ m}^3$
- Volumen aire = 0.02 m³

$$\text{Agregado fino (m}^3\text{)} = 1\text{m}^3 - (0.318 + 0.098 + 0.216 + 0.020)$$

$$\text{Vol. Absoluto del A.F.} = 0.347 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Peso Agregado fino} &= 0.347 \text{ m}^3 \times \text{Peso específico ag. fino} \\ &= 0.347 \text{ m}^3 \times 2590 \text{ Kg/ m}^3 \\ &= 898.76 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Paso 8: Ajuste agregados por contenido de humedad

Peso húmedo de los agregados:

$$\begin{aligned} \text{Agregado grueso} &= 907.39 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(1 + \frac{0.20}{100}\right) \\ &= 909.21 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} &= 898.76 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(1 + \frac{2.33}{100}\right) \\ &= 919.67 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Paso 9: Corrección del agua de mezclado

$$\begin{aligned} \text{Agregado grueso} &= 907.39 \text{ kg} \times \left(\frac{0.20 - 0.45}{100}\right) \\ &= -2.23 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} &= 898.76 \text{ kg} \times \left(\frac{2.33 - 1.54}{100}\right) \\ &= +7.098 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Agua de mezclado neta} = 216 - (-2.23 + 7.098) \text{ kg}$$

$$\text{Agua de mezclado neta} = 211.13 \text{ kg}$$

Dosificación en peso (kg)

Agua	211.13
Cemento	309.68
Agregado grueso	909.21
Agregado fino	919.67

Paso 10: Dosificación en volumen

A partir de los pesos hallados en el paso anterior se calcularán los volúmenes:

$$\begin{aligned}\text{cemento} &= \frac{309.68 \text{ kg}}{1500 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0.098 \text{ m}^3 \text{ (3.47 bolsas)} \\ \text{agregado grueso} &= \frac{909.21 \text{ kg}}{1429.86 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0.636 \text{ m}^3 \\ \text{agregado fino} &= \frac{919.67 \text{ kg}}{1519.2 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0.605 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Dosificación en volumen (m³)

Agua	0.211
Cemento	0.098
Agregado grueso	0.636
Agregado fino	0.605

Paso 11: Corrección del diseño de mezcla

El ensayo de prueba de campo dio como resultado un revenimiento = 0 cm. De acuerdo al paso 3, la cantidad de agua inicial fue de 216 l/m³. El diseño original del concreto demanda un slump máximo de 6 pulgadas o 15.24 cm. Si el revenimiento de campo fue de 0 cm quiere decir que la mezcla es deficiente en agua habiendo una diferencia de 15.24 cm y por tanto habrá que corregir adicionando más agua. Según el método de diseño deberá agregare 2 litros de agua por centímetro de slump o revenimiento a corregir.

Volumen de agua modificado por revenimiento:

$$216 \text{ l/m}^3 + 2 \times 15.24 \text{ l/m}^3 = 251.56 \text{ l/m}^3$$

Contenido de cemento

$$\text{Cemento (Kg/m}^3) = \frac{251.56 \text{ l/m}^3}{0.70 \text{ l/Kg}} = 360.66 \text{ Kg/m}^3$$

Recalculando Agregado fino

$$\begin{aligned} \text{➤ } V_{\text{H}_2\text{O}} &= 251.56 / 1000 && = 0.251 \text{ m}^3 \\ \text{➤ } V_{\text{cemento}} &= 360.66 / 3150 && = 0.114 \text{ m}^3 \\ \text{➤ } V_{\text{A.G.}} &= 909.21 / 2690 && = 0.318 \text{ m}^3 \\ \text{➤ } V_{\text{aire}} &&& = 0.020 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{A.F.}} &= V_{\text{concreto}} - (V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{cemento}} + V_{\text{A.G.}} + V_{\text{aire}}) \\ V_{\text{A.F.}} &= 0.296 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Agregado fino (peso):

$$V = \frac{W}{2590 \text{ kg/m}^3}$$

$$W_{\text{A.F.}} = 764.84 \text{ Kg}$$

Peso húmedo de los agregados:

$$W_{\text{AF(húmedo)}} = W_{\text{AF seco}} \times (1 + \% \text{ Humedad}/100)$$

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} &= 764.84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(1 + \frac{2.33}{100}\right) \\ &= 782.63 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Corrección del agua de mezclado:

$$\text{Agregado grueso} = 909.21 \text{ kg} \times \left(\frac{0.20 - 0.45}{100}\right)$$

$$= -2.24 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino} = 764.84 \text{ kg} \times \left(\frac{2.33 - 1.54}{100}\right)$$

$$= +6.04 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de mezclado neta} = 251.56 - (-2.24 + 6.04) \text{ kg}$$

$$\text{Agua de mezclado neta} = 247.76 \text{ kg}$$

Dosificación final:

	PESO		VOLUMEN	
AGUA	247.76	Lts	0.248	M3
EMENTO	360.66	Kg	0.114	M3
A.GRUESO	909.21	Kg	0.636	M3
A.FINO	782.63	Kg	0.515	M3

8.6 ANEXO 6. Evaluación de probetas cilíndricas de concreto liviano.

Tabla 29: Probetas al 0% de poliestireno añadido

Probeta al 0%		Cantidad		SLUMP		5"		
Agua		1.38	lt					
Cemento		2.01	kg					
A.grueso		5.06	kg					
A.fino		4.35	kg					
Poliestireno Añadido		0.00	lt					
Código de Probeta	Resistencia 7 días (kg/cm2)	Resistencia 21 días (kg/cm2)	Resistencia 28 días (kg/cm2)	Peso al día 0 (kg)	Peso a los 7 días (kg)	Peso a los 21 días (kg)	Peso a los 28 días (kg)	Peso específico kg/m3
1-0-7	89.68	-	-	12.444	12.440			2238.13
2-0-7	89.62	-	-	12.902	12.900			2320.50
3-0-7	104.18	-	-	12.898	12.902			2319.78
1-0-21	-	102.68	-	12.468		12.582		2242.45
2-0-21	-	131.64	-	12.774		12.892		2297.48
2-0-21	-	122.80	-	13.004		13.114		2338.85
1-0-28	-	-	175.06	12.834			12.856	2308.27
2-0-28	-	-	176.19	12.944			12.96	2328.06
3-0-28	-	-	178.07	13.000			13.032	2338.13
Promedio	94.49	119.04	176.44	12.81	12.75	12.86	12.95	2303.52

Tabla 30: Probetas al 40% de poliestireno añadido

Probeta al 40%		Cantidad		SLUMP	5.5"			
Agua		1.38	lt					
Cemento		2.01	kg					
A.grueso		3.03	kg					
A.fino		4.35	kg					
Poliestireno añadido		1.41	lt					
Código de Probeta	Resistencia 7 días (kg/cm2)	Resistencia 21 días (kg/cm2)	Resistencia 28 días (kg/cm2)	Peso al día 0 (kg)	Peso a los 7 días (kg)	Peso a los 21 días (kg)	Peso a los 28 días (kg)	Peso específico kg/m3
1-40-7	63.16	-	-	11.476	11.592	-	-	2064.03
2-40-7	69.92	-	-	11.564	11.682	-	-	2079.86
3-40-7	73.74	-	-	11.282	11.404	-	-	2029.14
1-40-21	-	74.50	-	11.388	-	11.506	-	2048.20
2-40-21	-	72.31	-	11.604	-	11.704	-	2087.05
2-40-21	-	89.15	-	11.072	-	11.174	-	1991.37
1-40-28	-	-	85.01	11.644	-	-	11.762	2094.24
2-40-28	-	-	96.84	10.800	-	-	10.922	1942.45
3-40-28	-	-	102.40	11.070	-	-	11.192	1991.01
Promedio	68.94	78.65	94.75	11.32	11.56	11.46	11.29	2036.37

Tabla 31: Probetas al 60% de poliestireno añadido

Probeta al 60%		Cantidad		SLUMP		6.5"		
Agua		1.38	lt					
Cemento		2.01	kg					
A.grueso		2.02	kg					
A.fino		4.35	kg					
Poliestireno Añadido		2.12	lt					
Código de Probeta	Resistencia 7 (kg/cm2)	Resistencia 21 (kg/cm2)	Resistencia 28 (kg/cm2)	Peso al día 0 (kg)	Peso a los 7 días (kg)	Peso a los 21 días (kg)	Peso a los 28 días (kg)	Peso específico kg/m3
1-60-7	72.26	-	-	10.748	10.760	-	-	1933.09
2-60-7	71.79	-	-	10.522	10.544	-	-	1892.45
3-60-7	70.03	-	-	10.052	10.074	-	-	1807.91
1-60-21	-	79.19	-	10.300	-	10.356	-	1852.52
2-60-21	-	80.61	-	10.858	-	10.914	-	1952.88
2-60-21	-	74.10	-	10.536	-	10.596	-	1894.96
1-60-28	-	-	91.27	10.728	-	-	10.818	1929.50
2-60-28	-	-	83.34	10.246	-	-	10.330	1842.81
3-60-28	-	-	83.02	10.234	-	-	10.328	1840.65
Promedio	71.36	77.96	85.88	10.47	10.46	10.62	10.49	1882.97

Tabla 32: Probetas al 100% de poliestireno añadido

Probeta al 100%		Cantidad		SLUMP 5.0"				
Agua		1.38	lt					
Cemento		2.01	kg					
A.grueso		0.00	kg					
A.fino		4.35	kg					
Poliestireno Añadido		3.54	lt					
Código de Probeta	Resistencia 7 (kg/cm2)	Resistencia 21 (kg/cm2)	Resistencia 28 (kg/cm2)	Peso al día 0 (kg)	Peso a los 7 días (kg)	Peso a los 21 días (kg)	Peso a los 28 días (kg)	Peso específico kg/m3
1-60-7	72.26	-	-	10.748	10.760	-	-	1933.09
2-60-7	71.79	-	-	10.522	10.544	-	-	1892.45
3-60-7	70.03	-	-	10.052	10.074	-	-	1807.91
1-60-21	-	79.19	-	10.300	-	10.356	-	1852.52
2-60-21	-	80.61	-	10.858	-	10.914	-	1952.88
2-60-21	-	74.10	-	10.536	-	10.596	-	1894.96
1-60-28	-	-	91.27	10.728	-	-	10.818	1929.50
2-60-28	-	-	83.34	10.246	-	-	10.330	1842.81
3-60-28	-	-	83.02	10.234	-	-	10.328	1840.65
Promedio	71.36	77.96	85.88	10.47	10.46	10.62	10.49	1882.97

8.7 ANEXO 7. Peso específico del concreto liviano.

Tabla 33: Peso específico según variación de agregado grueso en kg/m³

Probeta	0%	40%	60%	100%
Probeta 1	2238.13	2064.03	1933.09	1530.58
Probeta 2	2320.50	2079.86	1892.45	1610.43
Probeta 3	2319.78	2029.14	1807.91	1598.20
Probeta 4	2242.45	2048.20	1852.52	1606.47
Probeta 5	2297.48	2087.05	1952.88	1592.45
Probeta 6	2338.85	1991.37	1894.96	1604.32
Probeta 7	2308.27	2094.24	1929.50	1609.71
Probeta 8	2328.06	1942.45	1842.81	1630.94
Probeta 9	2338.13	1991.01	1840.65	1661.87
Media	2303.52	2036.37	1882.97	1605.00
Desv. Est	38.19	52.05	49.70	34.83
Coef. Var	0.02	0.03	0.03	0.02
Varianza	1458.25	2708.89	2470.37	1213.01

8.8 ANEXO 8. Ensayo de compresión diagonal en concreto liviano

Tabla 34: Resultados de ensayo de compresión diagonal

Panel	Fuerza (máx) KN	Fuerza (máx) Kgf	espesor t (cm)	Longitud diagonal Lc (cm)	Área (cm ²)	Vm (Kgf/cm ²)	Tipo de falla
P1D	58.93	6009.09	8.45	33.18	280.33	21.44	Diagonal
P2D	56.33	5743.97	8.65	33.50	289.78	19.82	Diagonal
P3D	65.30	6658.64	8.48	33.23	281.58	23.65	Diagonal
P4D	48.32	4927.19	8.35	33.13	276.59	17.81	Diagonal
P5D	50.12	5110.74	8.08	33.60	271.32	18.84	Diagonal
P6D	86.12	8781.66	8.70	33.18	288.62	30.43	Diagonal
P7D	68.52	6986.98	8.53	33.43	284.95	24.52	Diagonal
P8D	68.14	6948.24	8.55	33.23	284.07	24.46	Diagonal
P9D	73.58	7502.95	8.60	33.45	287.67	26.08	Diagonal
P10D	51.66	5267.77	8.35	33.30	278.06	18.95	Diagonal
P11D	76.55	7805.80	8.34	32.95	274.72	28.41	Diagonal
P12D	58.58	5973.40	8.23	33.23	273.28	21.86	Diagonal
Promedio						23.02	
Desv. Est						3.97	
Coef. Var						0.17	
Varianza						15.76	

)

8.9 ANEXO 9. Resultados de los ensayos de traslucidez.

Tabla 35: Resultados de traslucidez en probetas con 1% de contenido de FOP

Bloques	Luz de ingreso en luxes (a)	Luz de salida en luxes (b)	% de Luz que pasa en luxes (c) = (a) - (b) /100
PC-TIPO1-01	4110	3.50	0.0852%
PC-TIPO1-01	4200	3.60	0.0857%
PC-TIPO1-02	3880	3.70	0.0954%
PC-TIPO1-02	4100	3.80	0.0927%
PC-TIPO1-03	3970	4.10	0.1033%
PC-TIPO1-03	4080	3.50	0.0858%
PC-TIPO1-04	4850	3.10	0.0639%
PC-TIPO1-04	4910	3.10	0.0631%
PC-TIPO1-05	4490	3.30	0.0735%
PC-TIPO1-05	4570	3.80	0.0832%
PC-TIPO1-06	4060	5.10	0.1256%
PC-TIPO1-06	4170	5.40	0.1295%
PC-TIPO1-07	3950	4.20	0.1063%
PC-TIPO1-07	3990	5.40	0.1353%
PC-TIPO1-08	4040	5.30	0.1312%
PC-TIPO1-08	4230	6.30	0.1489%
PC-TIPO1-09	4930	3.10	0.0629%
PC-TIPO1-09	4710	3.30	0.0701%
Media		4.09	
Desv. Est		0.98	
Coef. Var		0.24	

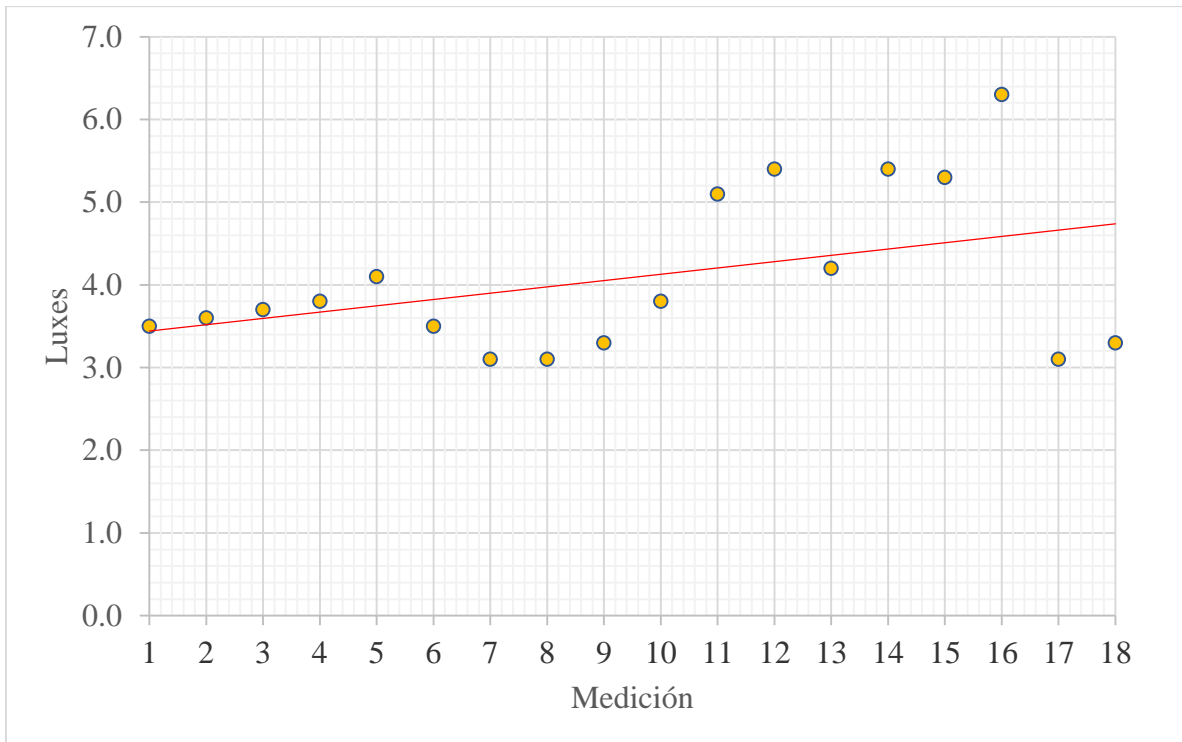


Figura 37: Distribución de mediciones en bloques al 1% de FOP

Tabla 36: Distribución normal para probetas al 1% de FOP

Datos	Distribución normal
3.10	0.24
3.10	0.24
3.10	0.24
3.30	0.29
3.30	0.29
3.50	0.34
3.50	0.34
3.60	0.36
3.70	0.38
3.80	0.39
3.80	0.39
4.10	0.41
4.20	0.41
5.10	0.24
5.30	0.19
5.40	0.17
5.40	0.17
6.30	0.03
Media	4.09
Desv. Est	0.98

Tabla 37: Resultados de traslucidez en probetas con 2% de contenido de FOP

Bloques	Luz de ingreso en	Luz de salida	% de Luz que
	luxes (a)	en luxes (b)	pasa en luxes (c) = (a) - (b) /100
PC-TIPO2-01	4240	2.90	0.0684%
PC-TIPO2-01	4210	1.00	0.0238%
PC-TIPO2-02	4320	9.00	0.2083%
PC-TIPO2-02	4250	8.20	0.1929%
PC-TIPO2-03	4320	3.20	0.0741%
PC-TIPO2-03	4480	3.20	0.0714%
PC-TIPO2-04	4210	5.80	0.1378%
PC-TIPO2-04	4320	3.40	0.0787%
PC-TIPO2-05	5080	4.80	0.0945%
PC-TIPO2-05	5030	4.10	0.0815%
PC-TIPO2-06	4290	1.50	0.0350%
PC-TIPO2-06	4030	1.90	0.0471%
PC-TIPO2-07	4300	2.50	0.0581%
PC-TIPO2-07	4200	3.10	0.0738%
PC-TIPO2-08	4590	5.80	0.1264%
PC-TIPO2-08	5050	6.50	0.1287%
PC-TIPO2-09	4090	6.80	0.1663%
PC-TIPO2-09	4160	7.50	0.1803%
Media		4.51	
Desv. Est		2.39	
Coef. Var		0.53	

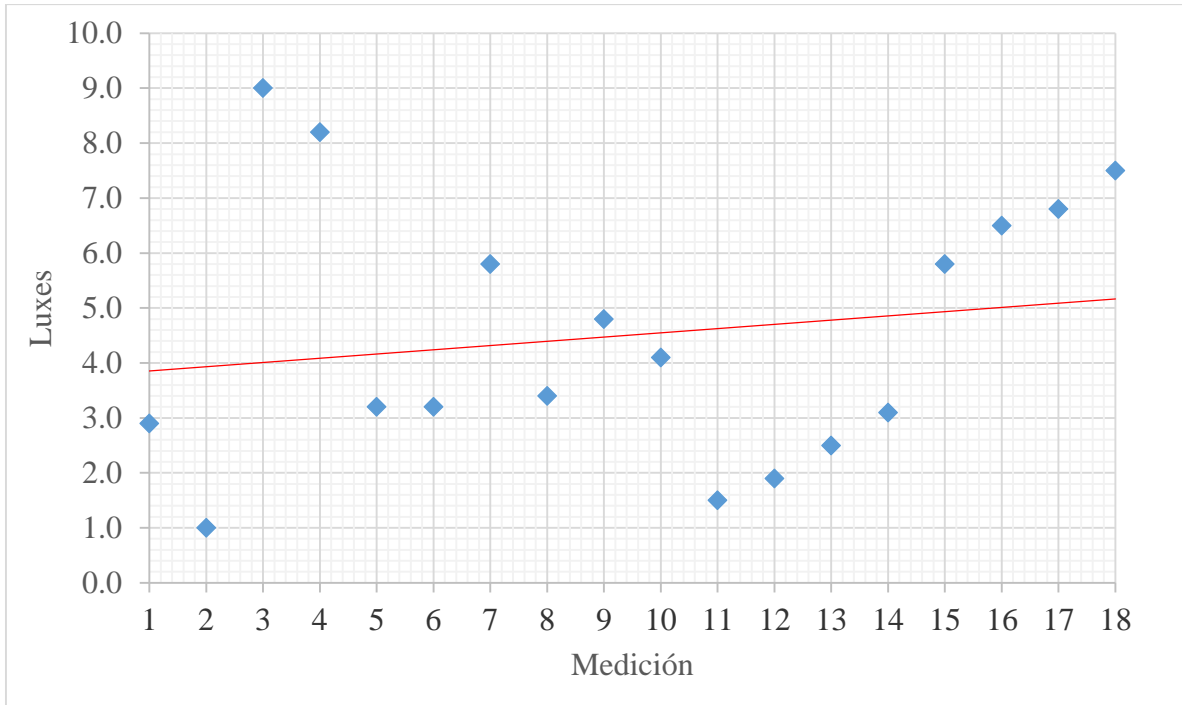


Figura 38: Distribución de mediciones en bloques al 2% de FOP

Tabla 38: Distribución normal para probetas al 2% de FOP

Datos	Distribución normal
1.00	0.06
1.50	0.08
1.90	0.09
2.50	0.12
2.90	0.13
3.10	0.14
3.20	0.14
3.20	0.14
3.40	0.15
4.10	0.16
4.80	0.17
5.80	0.14
5.80	0.14
6.50	0.12
6.80	0.11
7.50	0.08
8.20	0.05
9.00	0.03
Media	4.51
Desv. Est	2.39

Tabla 39: Resultados de traslucidez en probetas con 3% de contenido de FOP

Bloques	Luz de ingreso en luxes (a)	Luz de salida en luxes (b)	% de Luz que pasa en luxes (c) = (a) - (b) /100
PC-TIPO3-01	4110	5.90	0.1436%
PC-TIPO3-01	4100	4.70	0.1146%
PC-TIPO3-02	4220	6.30	0.1493%
PC-TIPO3-02	4180	7.40	0.1770%
PC-TIPO3-03	4080	5.40	0.1324%
PC-TIPO3-03	4240	8.60	0.2028%
PC-TIPO3-04	4100	10.10	0.2463%
PC-TIPO3-04	3910	10.20	0.2609%
PC-TIPO3-05	3540	7.00	0.1977%
PC-TIPO3-05	3900	8.00	0.2051%
PC-TIPO3-06	4130	8.20	0.1985%
PC-TIPO3-06	3990	5.20	0.1303%
PC-TIPO3-07	4200	6.40	0.1524%
PC-TIPO3-07	4070	5.30	0.1302%
PC-TIPO3-08	4550	4.70	0.1033%
PC-TIPO3-08	4570	3.90	0.0853%
PC-TIPO3-09	4960	7.10	0.1431%
PC-TIPO3-09	4790	9.70	0.2025%
Media		6.89	
Desv. Est		1.93	
Coef. Var		0.28	

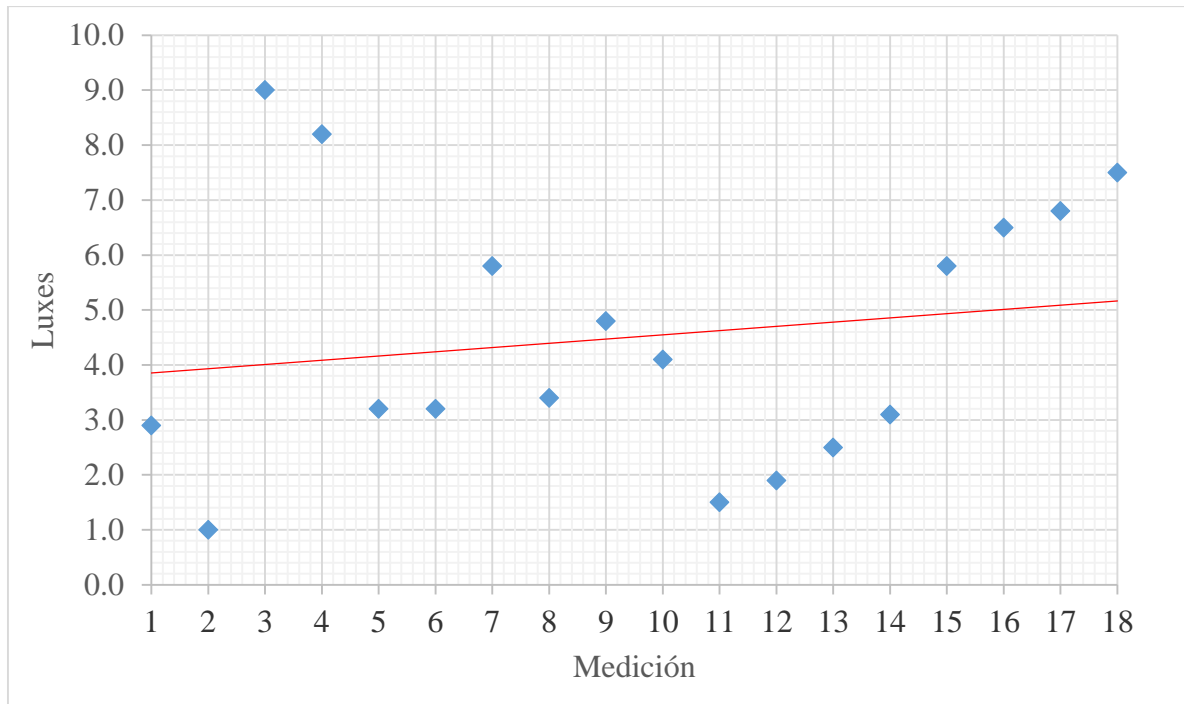


Figura 39: Distribución de mediciones en bloques al 3% de FOP

Tabla 40: Distribución normal para probetas al 3% de FOP

Datos	Distribución normal
3.90	0.06
4.70	0.11
4.70	0.11
5.20	0.14
5.30	0.15
5.40	0.15
5.90	0.18
6.30	0.20
6.40	0.20
7.00	0.21
7.10	0.21
7.40	0.20
8.00	0.18
8.20	0.16
8.60	0.14
9.70	0.07
10.10	0.05
10.20	0.05
Promedio	6.89
Desv. Est	1.93

8.10 ANEXO 10. Resultados de los ensayos a la compresión en testigos con fibra

Tabla 41: Ensayos de compresión en testigos con 1% de fibra óptica

Testigo	Resistencia (kg/cm ²)	Observaciones
Probeta 1	70.10	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 2	65.92	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 3	68.35	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 4	73.61	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 5	47.17	Falla por compresión prematura
Probeta 6	56.18	Falla por compresión prematura
<i>Media</i>	69.49	
<i>Desv. Est</i>	3.23	
<i>Coef. Var</i>	0.05	

Nota: No se han considerado los valores de las probetas 5 y 6 por presentar espacios vacíos en su estructura, así como defectos en elaboración. Fuente:

Tabla 42: Ensayos de compresión en testigos con 2% de fibra óptica

Testigo	Resistencia (kg/cm ²)	Observaciones
Probeta 1	66.19	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 2	62.05	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 3	58.25	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 4	59.80	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 5	36.22	Falla por compresión prematura
Probeta 6	37.66	Falla por compresión prematura
<i>Media</i>	61.57	
<i>Desv. Est</i>	3.45	
<i>Coef. Var</i>	0.06	

Nota: No se han considerado los valores de las probetas 5 y 6 por presentar espacios vacíos en su estructura, así como defectos en elaboración.

Tabla 43: Ensayos de compresión en testigos con 3% de fibra óptica.

Testigo	Resistencia (kg/cm ²)	Observaciones
Probeta 1	57.56	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 2	52.52	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 3	47.12	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 4	52.45	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 5	55.65	Falla por fisuramiento transversal
Probeta 6	53.97	Falla por fisuramiento transversal
<i>Media</i>	53.21	
<i>Desv. Est</i>	3.57	
<i>Coef. Var</i>	0.07	

8.11 ANEXO 11: Ficha técnica del cemento utilizado.



CEMENTO SOL

Descripción:

- Es un Cemento Tipo I, obtenido de la molienda conjunta de Clinker y yeso.
- Cuenta con la fecha y hora de envasado en la bolsa en beneficio de los consumidores, ya que permite una mayor precisión en la trazabilidad.

Beneficios:

- El acelerado desarrollo de resistencias iniciales permite un menor tiempo en el desencofrado.
- Excelente desarrollo de resistencias en Shotcrete.
- Ideal para la producción de prefabricados en concreto.

Usos:

- Construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- Fabricación de concretos de mediana y alta resistencia a la compresión.
- Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.
- Producción de prefabricados de concreto.
- Fabricación de bloques, tubos para acueducto y alcantarillado, terrazos y adoquines.
- Fabricación de morteros para el desarrollo de ladrillos, tarrajeos, enchapes de mayólicas y otros materiales.

Características Técnicas:

- Cumple con la Norma Técnica Peruana 334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C 150.

Formato de distribución:

- Bolsas de 42.5 Kg: 04 pliegos (03 de papel + 01 film plástico).
- Granel: A despacharse en camiones bombonas y Big Bags.



Recomendaciones

Dosificación:

- Se debe dosificar según la resistencia deseada.
- Respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.

Manipulación:

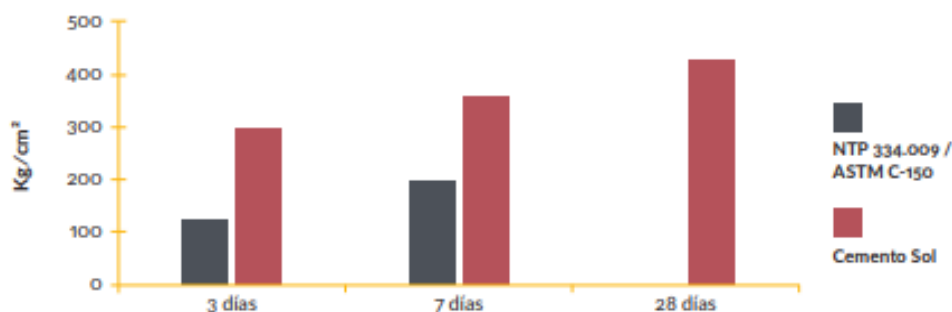
- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Se recomienda utilizar equipos de protección personal.
- Se debe evitar el contacto del cemento con la piel, los ojos y su inhalación.

Almacenamiento:

- Almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes y pisos. Protegerlas de las corrientes de aire húmedo.
- No apilar más de 10 bolsas para evitar su compactación.
- En caso de un almacenamiento prolongado, se recomienda cubrir los sacos con un cobertor de polietileno y en dos pallet de altura.

Requisitos mecánicos


Comparación resistencias NTP 334.009 / ASTM C-150 vs. Cemento Sol



Propiedades físicas y químicas


Parámetro	Unidad	Cemento Sol Tipo I	Requisitos 334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	cm ² /g	3361	Máximo 2600
Densidad	g/ml	3.12	No Especifica
Resistencia a la Compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	296	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	357	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	427	No especifica
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	305	Máximo 375
Composición Química			
MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO ₃	%	3.08	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.25	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.68	Máximo 1.5
Fases Mineralógicas			
C ₂ S	%	13.15	No especifica
C ₃ S	%	53.60	No especifica
C ₃ A	%	9.66	No especifica
C ₄ AF	%	9.34	No especifica

8.12 ANEXO 12: Ficha técnica del EPS utilizado.






Tecnopol
Ficha Técnica
Perlita Pre-expandida

Descripción

La Perla Tecnopol es el resultado de la expansión de la perlita pura o poliestireno (EPS), por sus cualidades térmicas, ligereza, amortiguamiento y baja absorción de agua, se utiliza principalmente en la obtención de concretos y morteros aligerados de buena vitalidad estructural con altos rendimientos y bajo costo. Se expande en densidades de 8 a 16 kg/m³ y requerimientos especiales, según la necesidad del cliente.



Beneficios

-  **Ligereza**
Obteniendo concretos y morteros más livianos que reducen el peso muerto de la estructura.
-  **Ahorro en Materiales**
Reducción en las cantidades de concreto.
-  **Mejores Revenimientos**
Facilita el bombeo a grandes distancias y alturas.
-  **Aislante Térmico**
Gracias a las propiedades del EPS se obtienen concretos con propiedades térmicas aislantes mejorando el confort del edificio.

Aplicaciones

Construcción (mortero y hormigón aligerado).
Agricultura (compostaje).
Viveros (múltiples usos).
Relleno de muñecos.

Almacenamiento

No retirara del empaque hasta el momento de hacer uso del producto.
Evitar contacto con superficies a temperatura mayor a 80°C.
No exponer a fuego directo.

Proporcionamiento

Densidad del Mortero (kg/m ³)	Cemento (kg)	Arena (kg) (L)		Agua (L)		Perlita (kg) (L)		Resistencia de la compresión(kg/cm ²)	Conductividad térmica (Btu·h/ft ² ·°F·in/W/mk)	Absorción de agua (% en peso)
600	190	190	120	96	12.00	1000		10.00	1.45 (0.21)	3.70
800	270	270	170	135	10.70	890		45.00	2.18 (0.33)	3.26
1000	350	350	220	175	9.40	790		75.00	2.96 (0.43)	2.34
1200	430	430	270	215	8.00	670		100.00	3.71 (0.53)	2.05
1400	510	510	320	255	6.70	560		125.00	4.51 (0.65)	1.90
1600	590	590	370	295	5.40	450		150.00	5.24 (0.76)	0.94

8.13 ANEXO 13: Ficha técnica de la fibra óptica plástica usada.

9/8/2019

CK-30 Eska™ High-Performance Plastic Optical Fiber

INDUSTRIAL FIBER OPTICS

Keyword or Part #

Home Products Custom/OEM Knowledge Base Support Purchase About Us Contact Us

You Are Here: [Home](#) > [Optical Fiber and Cable](#) > [Eska™ Products](#) > [Eska™ Optical Fiber](#) > **CK-30**

CK-30

Eska™ High-Performance Plastic Optical Fiber,
0.75 mm Diameter



Sectional View

Application: General purpose fiber for lighting applications

Manufacturer: Mitsubishi Chemical Co.

Part Number: CK-30

Prices	Data	Ratings	Documents
		1 to 2	\$ 238.50
		3 to 9	\$ 226.58
Part Number: CK-30 Price (2700 m per spool)		10 to 19	\$ 216.00
		20 to 39	\$ 211.45
		40 to 49	\$ 206.47
		50+	Call for Quote
			Quantity <input type="text" value="1"/>
			<input type="button" value="Conversion"/>
			Quantity <input type="text" value="1"/>
Part Number: IF C U750 Price (per meter)			\$ 0.34
			<input type="button" value="Conversion"/>

Structure				
Core Material	Polymethyl-Methacrylate Resin	Unit	Value	
Cladding Material	Fluorinated Polymer	Core Diameter	µm	690 - 780
Core Refractive Index	1.49	Cladding Diameter	µm	705 - 795
Refractive Index Profile	Step-Index	Approximate Weight	g/m	.5
Numerical Aperture	0.5			
Number of Fibers	1			
Buffer/Jacket				
Material and Color	n/a	Outer Diameter	mm	n/a
Indication on Jacket		Fiber Tensile Strength	N	32

Performance		Criteria for Acceptance and/or [Test Conditions]	Unit	Value
Maximum Rating	Storage Temperature	No Physical Deterioration [In a Dry Atmosphere]	° C	-55° ~ 70° C
	Operating Temperature	No Deterioration in Optical Properties [In a Dry Atmosphere] No Deterioration in Optical Properties [under 95% RH condition]	° C	-55° ~ 70° C
Optical Properties	Transmission Loss	(650 nm Collimated Light) [25°C 50% RH]	dB/m	.20 Max.
	Transmission Loss under 95% RH	(650 nm Collimated Light) [Operating Temperature] Loss Increment <0.5 dB	dB/m	Not rated
Mechanical Characteristics	Minimum Bend Radius	[A Quarter Bend]	mm	15
	Tensile Strength	Tensile Force at 5% [Elongation: Conforms to JIS C. 6861]	N	32

<https://fiberoptics.com/fiber-detail-eska.php?id=104&sum=90>

1/2

9/8/2019

CK-30 Eska™ High-Performance Plastic Optical Fiber

Manufacturer's PDF Data Sheet
REACH
Transmission graph
RoHS Certification 3: Yes



Company

[Company Overview](#)

[Products](#)

[Product Brochure](#)

[Custom/OEM](#)

[Registrations](#)

[Memberships](#)

[Privacy Policy](#)

Support

[Obsolete Parts](#)

[Repairs and Calibrations](#)

[Replacement Parts](#)

[Returns](#)

[Warranty Information](#)

Purchase

[Order Online](#)

[Online Payments](#)

[Terms and Conditions](#)

[Distributors](#)

[Prototyping Shop](#)

Knowledge Base


[Plastic Optical Fiber \(POF\) Basics](#)

[Characteristics of POF](#)

[Principles of Optical Fiber](#)

[Optical Fiber Structures](#)

Contact Us

 Industrial Fiber Optics, Inc
1725 West 1st Street
Tempe, AZ 85281-7622 USA

 info@i-fiberoptics.com

 480 806 1227

Seleccionar idioma ▾

Con la tecnología de  Traductor de Google

[Site Map](#)

Copyright 2000 - 2019, All Rights Reserved Industrial Fiber Optics

[Contact Us](#)

8.14 ANEXO 14: Ficha técnica de luxómetro usado.

PR-382 Series		
Illuminometers		
PR-382		
Specification	Range	
Model		PR-382
Illuminance Measurement (LUX)	20 Lux	±(3.0%+20)
	200 Lux	±(3.0%+8)
	2000 Lux	±(3.0%+8)
	20000 Lux	±(3.0%+8)
Illuminance Measurement (FC)	2 FC	✓
	20 FC	✓
	200 FC	✓
	2000 FC	✓
Features		
Display Count		1999
Auto Range		✓
Data Hold		✓
Auto Power Off	Around 10 Minutes	✓
Low Battery Indication	Around ≤7.1V	✓
MAX Mode		✓
MIN Mode		✓
Data Logging		2044
USB Interface		✓
Auto Record Time Setup		✓
Real-Time Clock		✓
General Characteristic		
Power	9V Alkaline Battery(6LF22)	
LCD Size	22.5mm X 32.5mm	
Product Color	Red and Grey	
Product Net Weight	185g	
Product Size	195mm X 45mm X 26mm	
Standard Accessories	PR-382-Battery,USB Interface Cable,PC Software CD,Carrying B	
Standard Individual Packing	Blister, English Manual	
Standard Quantity Per Carton	40 PCs	
Standard Carton Measurement	650mm X 560mm X 300mm(0.11 CBM Per Standard Carton)	
Standard Carton Gross Weight	15Kg	



8.15 ANEXO 15: Ficha técnica de fuente de luz usada.

Flashlight Specifications Features:

- 100% brand new and high quality
- The design of transport type clamp
- Lumens: 10000 Lumens
- Lifespan: 100000 Hours
- Input Voltage: 3.6-4.2V
- Casing Color :Black
- LED Light Color: white
- Bulb Type : Super Bright T6 LED
- Reflector: Convex Lens
- Adjustable Focus Can Zoomable.
- Material: high-quality metal aluminum
- Power by : 1x 18650 Battery Positive "+" inwards (Depending on your choice of purchase)
- 5 modes: High>Middle>Low>Srtobe>SOS. With Tail-cap ON/OFF button, simple to use(Light press to turn the mode to another)

18650 battery:

- 6000mAh 3.7V 18650 lithium ion rechargeable battery
- High temperature and overcurrent protection device
- Short circuit protection and favorable environment
- Widely used in laser pointers, flashlights, emergency lighting, and other portable devices
- Color: Black



8.16 ANEXO 16. Resultados de análisis de agua para concreto.

Tabla 10: Resultados de los Análisis de agua para consumo Humano

Parámetros evaluados	Resultados del laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertiliriego	Resultados de Corporación laboratorios ambientales del Perú S.A.C. – CORPLAB	Límites Máximos Permisibles de acuerdo al Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano
PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICO			
Turbiedad	1.49 NTU	1.0 NTU	5 NTU
Sólidos Totales	2779.50 mg/L	• 2264 mg/L	1000 mg/L
Hierro	0.29 mg/L	0.192 mg/L	0.3 mg/L
Plomo	0.00 mg/L	<0.0001 mg/L	0.010 mg/L
Cobre	<0.035 mg/L	0.0008 mg/L	2.0 mg/L
Cadmio	0.01 mg/L	<0.00003 mg/L	0.003 mg/L
Manganeso	<0.03	0.0015 mg/L	0.4 mg/L
Zinc	0.01 mg/L	<0.003 mg/L	3.0 mg/L
Boro	0.32 mg/L	0.3686 mg/L	1.5 mg/L
Magnesio	59.28 mg/L	57.74 mg/L	-
Sulfatos	707.16 mg/L	605.9 mg/L	250 mg/L
Cloruros	753.36 mg/L	679.1 mg/L	250 mg/L
Dureza Total	1119.23 mg/CaCO ₃ /L	1108 mg/CaCO ₃ /L	500 mg/CaCO ₃ /L
Alcalinidad Total	65.58 mg/CaCO ₃ /L	-	-
pH	7.52	7.42	6.5- 8.5
Nitratos	14.79 mg/L	15.93 mg/L	50 mg/L
Sodio	350 mg/L	297.7 mg/L	200 mg/L
Conductividad	3610 µS/cm	3610 µS/cm	1500 µS/cm
PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS			
Bacterias Heterotróficas	-	<1 NMP/100mL	500 UFC/mL
Coliformes Fecales	-	<1.8 NMP/100mL	0 UFC/mL
Coliformes Totales	-	<1.8 NMP/100mL	0 UFC/mL
<i>Escherichia coli</i>	-	<1.8 NMP/100mL	0 UFC/mL
Huevos y larvas de helmintos	-	<1 NMP/100mL	0 N° org/L
Virus	-	<1	0 N° org/L



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO



Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe N° 003080

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO
DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
COORDENADAS UTM : Norte(m): 8663579903 ; Este (m): 288300506 ; Elevación (m): 241.296
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 13 de Mayo del 2016

N° LABORATORIO	3080
N° DE CAMPO	POZO CHINO 2
Turbiedad NTU	1.49
Sólidos Totales mg/L	2,779.50
Hierro mg/L	0.29
Plomo mg/L	0.00
Cobre mg/L	<0.035
Cadmio mg/L	0.01
Manganeso mg/L	<0.03
Zinc mg/L	0.01
Boro mg/L	0.32
Magnesio mg/L	59.28
Sulfatos mg/L	707.16
Cloruros mg/L	753.36
Dureza Total mg/CaCO ₃ /L	1,119.23
Alcalinidad Total mg/CaCO ₃ /L	65.58
pH	7.52
Nitratos mg/L	14.79
Sodio mg/L	350.00

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 ING. ANTONIO ENCISO GUTIÉRREZ
 JEFE DE LABORATORIO



8.17 ANEXO 17. Panel fotográfico.



Figura 40: Compra de agregado fino proveniente de la Cantera Huaycán



Figura 41: Peso de la fiola con agua



Figura 42: Colocación de agregado grueso en la canastilla de metal



Figura 43: Muestras (3) de agregado grueso a ensayar



Figura 44: Tamizado de perlas de poliestireno



Figura 45: Materiales medidos antes de mezcla



Figura 46: Mezcla seca de materiales



Figura 47: Medición de slump de mezcla húmeda



Figura 48: Vertido de perlas en mezcla al 100% de EPS añadido



Figura 49: Vertido de concreto liviano de mezcla homogénea



Figura 50: Slump de 5 pulgadas para concreto al 100% de EPS añadido



Figura 51: Probetas cilíndricas etiquetadas para su posterior curado



Figura 52: Colocación de testigo en prensa hidráulica para prueba de compresión



Figura 53: Aplicación de esfuerzo axial a probeta en prensa hidráulica



Figura 54: Probeta de 60% de EPS añadido ensayada



Figura 55: Testigos de concreto liviano sacado ya ensayados

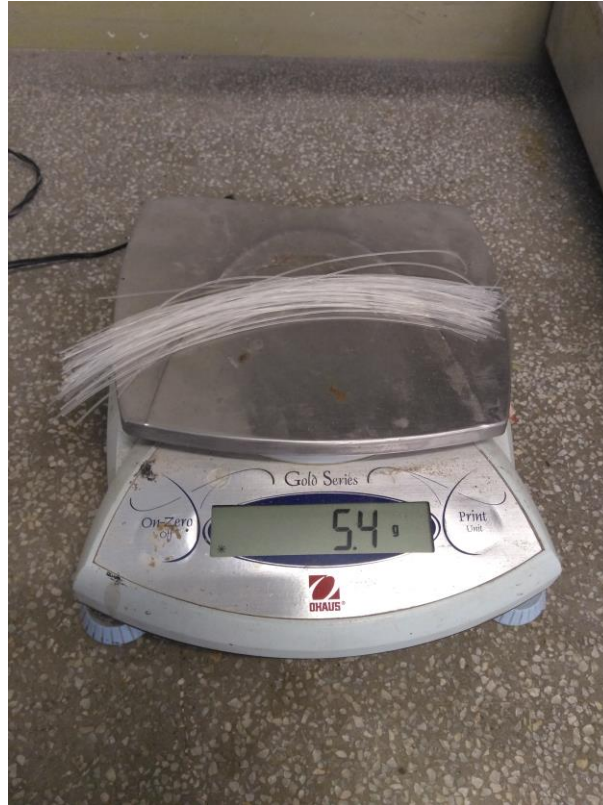


Figura 56: Pesado de fibra óptica plástica de 0.75mm



Figura 57: Enderezado de fibra óptica plástica en agua a 80°C



Figura 58: Colocación horizontal de fibra óptica en llenado de probetas cúbicas



Figura 59: Encofrado y enlucido final de probetas con fibra óptica incorporada



Figura 60: Preparación del encofrado de paneles de concreto liviano



Figura 61: Panel de concreto liviano para prueba de compresión diagonal



Figura 62: Alineamiento lateral de testigo en ensayo de compresión diagonal



Figura 63: Alineamiento central de testigo en ensayo de compresión diagonal



Figura 64: Testigo 06 antes del ensayo



Figura 65: Falla por corte y aplastamiento en testigo 06

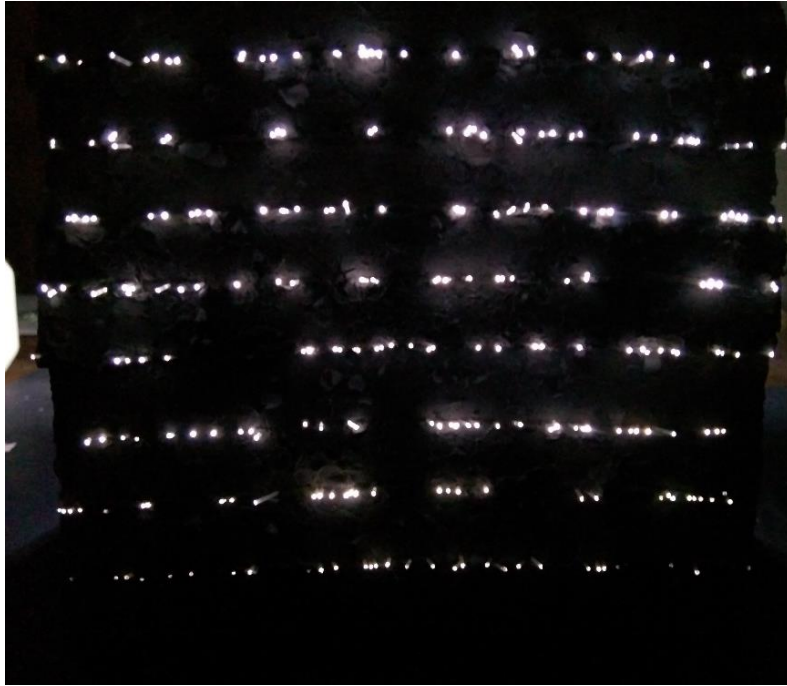


Figura 66: Prueba de traslucidez en probeta con 1% de fibra añadida

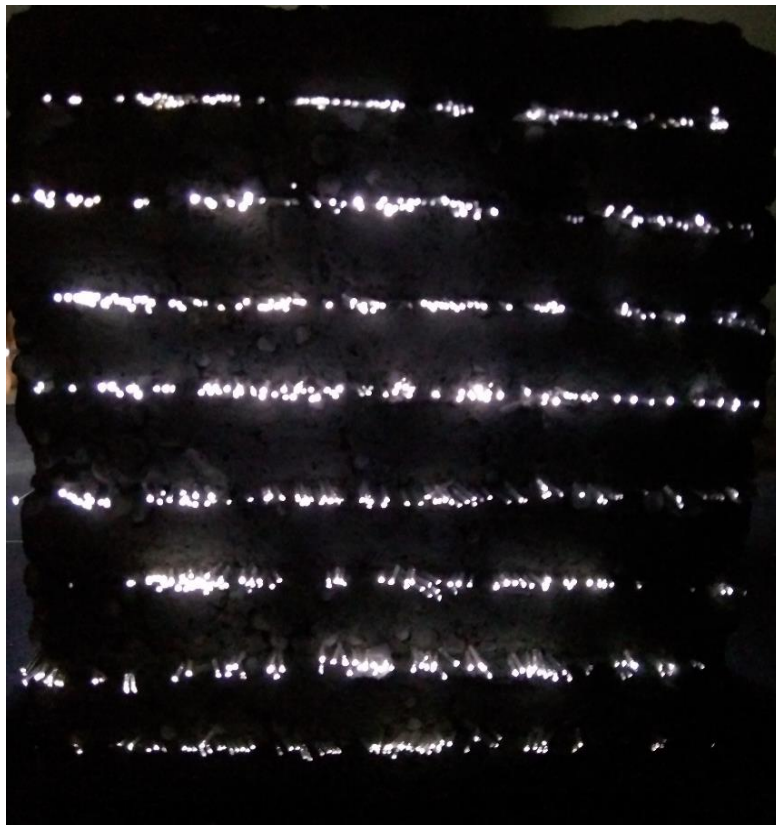


Figura 67: Prueba de traslucidez en probeta con 2% de fibra añadida



Figura 68: Prueba de traslucidez en probeta con 3% de fibra añadida



Figura 69: Prueba de compresión axial en probeta de 2% de contenido de fibra