

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**Efecto de la sustitución del agregado grueso por tecnopor**  
**en la densidad y resistencia del concreto**

**Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil**

**Autor**

Tinoco Usúa, Alberto Jaime

**Asesor**

Solar Jara, Miguel Ángel

**HUARAZ – PERU**

**2019**

## Índice General

### **Contenido**

Título	i
Palabras clave - key words	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
I.    Introducción	1
II.   Metodología	30
III.  Resultados	33
IV.  Análisis y discusión	61
V.   Conclusiones y Recomendaciones	64
VI.  Agradecimientos	67
VII. Referencias bibliográficas	68
VIII. Anexos y apéndices	72

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del cemento	14
Tabla 2. Propiedades químicas EPS	20
Tabla 3. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción [ACI 211]	21
Tabla 4. Requerimientos de Agua aproximada de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado	23
Tabla 5. Relaciones entre la relación Agua/Cemento y la resistencia a la compresión del concreto	24
Tabla 6. Relaciones agua/cemento máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas	25
Tabla 7. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen del concreto	26
Tabla 8. Calculo tentativo del peso del concreto fresco	27
Tabla 9. Esquema del diseño experimental	30
Tabla 10. Técnicas e instrumentos	31
Tabla 11. Contenido de humedad del Agregado Fino ASTM D 216-71 (Agregado fino)	33
Tabla 12. Contenido de humedad del agregado grueso ASTM D 216-71 (Agregado grueso)	33
Tabla 13. Peso específico y absorción del agregado fino	34
Tabla 14. Peso específico y absorción del agregado grueso	34
Tabla 15. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino	35
Tabla 16. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso	35
Tabla 17. Granulometría del Agregado Fino.	36
Tabla 18. Granulometría del Agregado Grueso	37
Tabla 19. Peso específico del tecnopor	38
Tabla 20. Diseño de mezcla para el concreto patrón	38
Tabla 21. Datos de diseño para el concreto patrón	39

Tabla 22. Correcciones de diseño para el concreto patrón	39
Tabla 23. Diseño de mezcla para el concreto experimental con el 10% sustitución	40
Tabla 24. Datos de diseño para el concreto experimental con el 10% sustitución	41
Tabla 25. Correcciones de diseño para el concreto experimental con el 10% sustitución	41
Tabla 26. Diseño de mezcla para el concreto experimental con el 20% sustitución	42
Tabla 27. Datos de diseño para el concreto experimental con el 20% sustitución	43
Tabla 28. Correcciones de diseño para el concreto experimental con el 20% sustitución	43
Tabla 29. Diseño de mezcla para el concreto experimental con el 30% sustitución	44
Tabla 30. Datos de diseño para el concreto experimental con el 30% sustitución	45
Tabla 31. Correcciones de diseño para el concreto experimental con el 30% sustitución	45
Tabla 32. Proporcionamiento del diseño	45
Tabla 33. Cantidad de materiales de diseño para el concreto patrón y experimentales.	46
Tabla 34. Resistencias de los especímenes de concreto patrón $f'_c=280$ kg/cm <sup>2</sup> .	47
Tabla 35. Resistencias de los especímenes de concreto experimental $f'_c=280$ kg/cm <sup>2</sup> con la sustitución del agregado grueso en un 10% por tecnopor.	48
Tabla 36. Resistencias de los especímenes de concreto experimental $f'_c=280$ kg/cm <sup>2</sup> con la sustitución del agregado grueso en un 20% por tecnopor.	49
Tabla 37. Resistencias de los especímenes de concreto experimental $f'_c=280$ kg/cm <sup>2</sup> con la sustitución del agregado grueso en un 30% por tecnopor.	50

Tabla 38. Resistencias promedio de los especímenes de concreto patrón y experimental $f'_c=280$ kg/cm <sup>2</sup> con la sustitución del 10%, 20% y 30% del agregado grueso por tecnopor.	51
Tabla 39. Resistencias promedio de los especímenes de concreto patrón y experimental $f'_c=280$ kg/cm <sup>2</sup> con la sustitución del 10%, 20% y 30% del agregado grueso por tecnopor, expresado en porcentajes.	52
Tabla 40. Análisis de varianza para determinar las diferencias de las resistencias de los concretos patrón y experimentales $f'_c=280$ kg/cm <sup>2</sup> .	55
Tabla 41. Densidad del concreto patrón	56
Tabla 42. Densidad del concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 10% por tecnopor	57
Tabla 43. Densidad del concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 20% por tecnopor	58
Tabla 44. Densidad del concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 30% por tecnopor	59
Tabla 45. Densidad promedio de los especímenes de concreto patrón y experimental con la sustitución del 10%, 20% y 30% del agregado grueso por tecnopor	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de obtención EPS	18
Figura 2. Curva granulométrica del agregado fino	36
Figura 3. Curva granulométrica del agregado grueso	37
Figura 4. Evolución de las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales	53
Figura 5. Evolución de las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales, expresado en porcentajes respecto a la resistencia de diseño	54
Figura 6. Densidad del concreto patrón y experimentales con la sustitución del agregado grueso por tecnopor	60

**Efecto de la sustitución del agregado grueso por  
tecnopor en la densidad y resistencia del concreto**

**PALABRAS CLAVE:**

Tema	Resistencia del Concreto, tecnopor
Especialidad	Tecnología del Concreto

**KEY WORDS:**

Topic	Concrete Resistance, tecnopor
Specialization	Concrete Technology

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Programa	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	Construcción y Gestión de la Construcción
OCDE	2. Ingeniería y Tecnología 2.1. Ingeniería Civil Ingeniería de la Construcción
Sub Líneas o Campos de la Investigación	Materiales de la Construcción Tecnología de la Construcción y Procesos constructivos



## **Resumen:**

El propósito de la investigación fue determinar la resistencia a compresión de mezclas de concreto con sustitución parcial en volumen del agregado grueso en 10%, 20% y 30% por partículas de tecnopor, utilizando agregados de la cantera de Rumichuco, ubicado en las riveras del río Santa, el tecnopor se adquirió de las tiendas comercializadoras de artículos de ferretería, el cemento utilizado fue portland tipo I, la finalidad fue encontrar diferentes alternativas de materiales para ser aplicados en el campo de la construcción e ingeniería civil.

En los últimos años, la industria de la construcción ha introducido el uso de nuevos materiales como alternativas para la producción de concretos ligeros. Estos hormigones se caracterizan por ser más livianos comparados con un hormigón de peso normal (arena, cemento, grava y agua), lo cual puede inducir al uso de elementos con secciones más pequeñas y con ello una reducción en los gastos de transporte y montaje, provocando una disminución en los costos y tiempo de ejecución de obra.

Con el objetivo de determinar la densidad y resistencia a la compresión de mezclas de concreto, se realizó un experimento que consistió en sustituir en volumen al agregado grueso por Tecnopor en porcentajes del 0%, 10%, 20% y 30%. El proyecto se enfoca en considerar al tecnopor como un nuevo material alternativo en la construcción, con una visión de futuro y buscando aminorar los efectos contaminantes de la producción del concreto y sus costos.

Una vez realizados los ensayos se determinó que el peso específico o densidad de los concretos experimentales lograron una disminución del 3.75%, 7.50% y 11.57% respecto al concreto patrón, en los porcentajes de sustitución del agregado grueso por tecnopor del 10%, 20% y 30% respectivamente. Asimismo, se determinó que dichos concretos experimentales bajaron su resistencia proporcionalmente al aumentó del porcentaje de sustitución, mostrando una disminución del 1.35%, 4.53% y 8.45% respecto al concreto patrón en los porcentajes de sustitución del 10%, 20% y 30% respectivamente.

## **Abstract**

The purpose of the research was to determine the compressive strength of concrete mixtures with partial replacement in volume of coarse aggregate in 10%, 20% and 30% by technopor particles, using aggregates from the Rumichuco quarry, located on the banks of the Rio Santa, the technopor was acquired from the hardware stores, the cement used was portland type I, the purpose was to find different alternatives of materials to be applied in the field of construction and civil engineering.

In recent years, the construction industry has introduced the use of new materials as alternatives for the production of lightweight concrete. These concretes are characterized by being lighter compared to a concrete of normal weight (sand, cement, gravel and water), which can induce the use of elements with smaller sections and with it a reduction in the costs of transport and assembly, causing a decrease in costs and time of execution of work.

In order to determine the density and compressive strength of concrete mixtures, an experiment was carried out that consisted of substituting bulk volume by Tecnopor in percentages of 0%, 10%, 20% and 30%. The project focuses on considering technopor as a new alternative material in construction, with a vision of the future and seeking to reduce the polluting effects of concrete production and its costs.

Once the tests were carried out, it was determined that the specific weight or density of the experimental concretes achieved a reduction of 3.75%, 7.50% and 11.57% with respect to the concrete standard, in the percentages of substitution of the coarse aggregate by 10% technopor, 20% and 30% respectively. Likewise, it was determined that said experimental concretes lowered their resistance proportionally to the increase of the percentage of substitution, showing a decrease of 1.35%, 4.53% and 8.45% with respect to the concrete pattern in the percentages of substitution of 10%, 20% and 30% respectively .

## I. INTRODUCCIÓN

Los primeros concretos livianos utilizados para construir edificaciones surgieron en el Imperio Romano en los años 20 a.C (Valdez y Suarez, 2010, p.16). Estos eran resultado de la mezcla de materiales cementantes formados a partir de limos quemados con materiales de baja densidad como lo es la piedra pómez. Entre las obras realizadas con este tipo de hormigón destacan: La cúpula del Panteón de Agripa (25 a.C) y los arcos del Coliseo Romano (70 d.C), éste último con luces mayores a 25 metros (Rodriguez, 2016, p. 7).

Hoy en día, al buscar disminuir el peso volumétrico del concreto, se han realizado investigaciones con el objetivo de sustituir total o parcialmente los áridos del concreto por materiales más ligeros, en un rango económicamente aceptable, y disponibles en el mercado. De acuerdo a la bibliografía, en Ecuador, la mayoría de estudios se han enfocado en el uso de materiales reciclables como sustitutos parciales de los áridos en el concreto. (Lituma y Zhunio, 2015, p.14).

Se han considerado residuos de madera, en la cual se obtuvieron concretos alivianados con una densidad de 1,02 g/cm<sup>3</sup> a 1,40 g/cm<sup>3</sup>, y con el cual es posible realizar piezas prefabricadas tales como: paneles para interiores y exteriores, baldosas, paneles de revestimiento y bloques (Albán, Vásquez y Cortés. 1998, p.35), y también escoria de acero, en la cual se obtuvieron resistencias entre los 30 y 60 MPa, por lo cual este concreto puede ser considerado de alta resistencia debido a que se obtuvieron resistencias mayores a 50 MPa; sin embargo se obtuvieron mayores densidades que un concreto de alta resistencia tradicional (Vélez, 2013, p. 149).

En 1950, la Corporación BASF a través de sus investigadores Fritz Stastny y Karl Buchhoz, sintetizó un nuevo material conocido como poliestireno expandido (EPS). Esta innovación le permitió a esta Corporación convertirse en el pionero en el desarrollo del hormigón aligerado con poliestireno expandido o también llamado “Styropor-beton. A partir de la década de los 70, el desarrollo y aplicación de este concreto se expandió alrededor del mundo, es así que Cook, D.J. en 1973 publicó su obra denominada “Expanded Polystyrene beads as lightweight expanded aggregate for concrete”. Debido al comportamiento hidrófugo de las perlas de EPS, la obtención de

una mezcla homogénea del hormigón con EPS ha sido compleja, por lo cual varias investigaciones se han enfocado en buscar un adecuado tratamiento químico que facilite la adherencia de las perlas de EPS con la masa del concreto. Se ha usado con este propósito aditivos como: resinas epóxicas, resinas sintéticas, soluciones de propionato de polivinilo, humo de sílice, etc. (Chen & Liu, 2004, p.25).

En los últimos años, el uso de las esferas de EPS como sustituto parcial o total del árido ha sido objeto de múltiples investigaciones tanto experimentales como teóricas. Las investigaciones se han enfocado en temas como: el efecto del tamaño de las perlas de EPS en las propiedades mecánicas del hormigón, encontrándose una relación inversamente proporcional (Miled, Le Roy & Sab, 2005, p.36); también, debido a la característica reciclable del EPS, se ha comparado el concreto con EPS reciclado y manufacturado, resultando ser éste último mejor ya que la resistencia a la compresión fue superior en un promedio del 11,5% con respecto al concreto con EPS reciclado (Trussoni, Hays & Zollo, 2012, p.101); en cuanto a las propiedades mecánicas del concreto con EPS, concluyeron en general, que la resistencia tanto a la compresión como a la flexión es proporcional a su densidad, pero es menos susceptible a daños debido a la corrosión.

Sin embargo, nuevos diseños de mezcla para concretos están siendo continuamente desarrollados, por lo tanto, la idea del EPS como árido para obtener concreto ligero, modificando los componentes y sus cantidades en la mezcla de hormigón se siguen investigando con el objetivo de dominar sus características y propiedades, y con ello incrementar los posibles campos de aplicación.

Actualmente el EPS está disponible a nivel mundial, a diferencia de otros materiales utilizados como sustitutos de áridos en el hormigón como son la vermiculita, arcilla expandida, esquistos y pizarras, cuya accesibilidad es limitada (Ranjbar, Rahmand & Mousavi, 2013, p.26); además según (Miled, et al., 2004, p.69), la resistencia a la compresión del hormigón con EPS fue más alta que la obtenida con vermiculita o perlita. Es por esto que el hormigón con poliestireno expandido se convertiría en una alternativa viable para el sector de la construcción.

Los avances tecnológicos han permitido la experimentación con agregados ricos en sílice como la cascarilla de arroz, agregados artificiales plásticos (poliestireno) y agregados livianos (arcillas, pizarras y escorias expandidas). Los primeros edificios construidos con hormigones estructurales livianos aparecieron luego de la primera Guerra Mundial. En el año 1922 se construyó la ampliación del Gimnasio de la Escuela de Deportes Acuáticos de la ciudad de Kansas, naciendo así la primera obra de hormigón liviano estructural de la historia. El suelo donde se cimentó dicho edificio tenía una capacidad de soporte muy baja, por esta razón se utilizó un hormigón liviano, aligerando la carga generada por el peso propio (Rodríguez, 2016, p.18). Durante el año 1928 se realizó un estudio de estructuración con el fin de incrementar el número de plantas del edificio de oficinas de la compañía de teléfono Southwestern Bell en la ciudad de Kansas, el cual contaba con 14 pisos. Así, se investigó sobre la cimentación y se determinó que a dicha estructura se le podía adicionar 8 pisos más utilizando hormigón convencional, no obstante al utilizar hormigón liviano en base a arcillas expandidas, dicha construcción se incrementó en 14 plantas (Wainsztein y Cano, 2011, p.118).

Las cualidades del poliestireno expandido tanto en su amplia gama de prestaciones como de material aislante térmico, de material ligero para construcciones civiles, modulares de fácil ejecución; así como las formas en las que se puede presentar le convierten en material con amplias posibilidades de aplicación dentro del ámbito de la Construcción. Las aplicaciones en esta área se centran fundamentalmente en la edificación con soluciones constructivas para el aislamiento termo-acústico de los diferentes cerramientos así como en soluciones de aligeramiento y conformado de diversas estructuras de la edificación además de otras aplicaciones como moldes de encofrado y juntas de dilatación. (Andrade, 2014, p.79).

El poliestireno expandido EPS, es un material celular que pertenece al grupo de las geoespumas (Negussey, 1998, p.141). El término geoespuma o geofoam fue propuesto por Horvath en el año 1995 para describir a todo aquel material fabricado mediante un proceso de expansión que pueda usarse en aplicaciones geotécnicas. El uso del poliestireno expandido EPS en forma de bloques no es reciente, países como Noruega,

Estados Unidos, Japón, Malasia y Alemania entre otros, los han utilizado de manera exitosa en numerosas aplicaciones geotécnicas. De manera conjunta, Noruega y Japón representan aproximadamente el 80% del uso de bloques de EPS a nivel mundial. La primera aplicación geotécnica de los bloques de EPS ocurrió en Noruega en el año de 1972 mediante la construcción de terraplenes para vías cimentadas en suelos altamente compresibles. Sin embargo, en este país desde una década antes, los bloques de EPS ya eran utilizados como aislante térmico de la estructura del pavimento. En Japón los bloques de EPS están siendo utilizados de manera creciente en aplicaciones geotécnicas desde 1985, debido a las buenas experiencias obtenidas en el comportamiento del material bajo condiciones estáticas y dinámicas. En Alemania el uso de los bloques de EPS en aplicaciones geotécnicas se dio a mediados de los años 90 y unos pocos años antes en Malasia. Por otro lado, en Estados Unidos el uso de esta tecnología data de finales de los años 80, y su uso ha aumentado notablemente en la última década, se destaca el desarrollo de proyectos que involucran grandes retos ingenieriles como es la rehabilitación de aproximadamente 27 kilómetros de la autopista interestatal I-15 en Salt Lake City situada sobre suelos altamente compresibles y la cual debería construirse en un periodo de tiempo corto. En este proyecto fueron utilizados un total de 100 mil metros cúbicos de EPS en la construcción de terraplenes para la ampliación de carriles y acceso a puentes, y en la construcción de respaldos compresibles en estribos de puentes. (Ossa, 2004, p.62).

(Zuluaga, 2013, p.20). El objetivo del presente trabajo de grado es evaluar el comportamiento del concreto elaborado con desechos de icopor. Se realizaron 3 mezclas de concreto con diferentes proporciones de reemplazo de agregado fino por icopor de desecho molido (0%, 10% y 20%) y con cada una se elaboraron cilindros y viguetas para realizar los siguientes ensayos de laboratorio: i) asentamiento, ii) masa unitaria en estado fresco, iii) resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, iv) módulo de elasticidad a los 28 días, v) módulo de rotura a los 28 días y vi) penetración al ion cloruro a los 28 días. El diseño de mezcla correspondió a un concreto de resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>, con una relación agua/cemento de 0.50. El icopor utilizado en esta investigación fue recuperado de almacenes y fruterías, siendo la mayoría empaques de alimentos y electrodomésticos. Utilizando un molino de carne

se trituró el icopor, desmembrándolo en pedazos de diámetro promedio de 1 cm. Al momento de elaborar las mezclas con porcentaje de reemplazo con icopor se encontró el inconveniente de la volatilidad de éste cuando hay corrientes de aire; el autor recomienda pre-mezclar los materiales tradicionales de la mezcla (arena, grava y cemento) con parte del agua de mezcla, luego introducir el icopor y finalmente adicionar el agua faltante, siempre teniendo cuidado de no levantar el icopor. Las mezclas fabricadas en estado fresco evidenciaron buena manejabilidad, ni muy húmeda ni muy seca, asentamientos entre 7 y 9 cm, sin presentar segregación de materiales, aún con el reemplazo de 20% de agregado fino. Las masas unitarias, al aumentar el porcentaje de reemplazo disminuyeron; no obstante, no variaron significativamente entre sí. Las resistencias a la compresión y los módulos de elasticidad registradas para las 3 mezclas se encontraron en valores muy cercanos entre sí, concluyendo que para concretos elaborados incluso con 20% de reemplazo con icopor, presentan similar resistencia a la compresión y valor de módulo de elasticidad. En cuanto al módulo de rotura y de acuerdo a los resultados encontrados, con una diferencia aproximada del 2%, se concluye que concretos elaborados incluso con un reemplazo con icopor del 10%, la resistencia a la flexión es similar; para reemplazos del 20%, la diferencia se considera significativa. Finalmente y gracias al ensayo de penetración al ion cloruro, se concluye que a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo, así mismo aumenta la permeabilidad del concreto obtenido, evidenciándose en el nivel de oxidación registrado en las muestras al final del ensayo y la carga eléctrica acumulada que pasó por cada una; no obstante, las 3 muestras presentaron una calificación de permeabilidad alta al ion cloruro, influenciado en gran medida por la resistencia de diseño y relación agua/cemento utilizadas en esta investigación. Se concluye entonces, que el concreto elaborado con desechos de icopor como reemplazante de un porcentaje del agregado fino, tiene potencial para ser utilizado como material de construcción para elementos estructurales.

La sustitución de árido fino (arena) por perlas de EPS en la masa del hormigón reduce de manera directa su densidad a cualquier edad, lo que confirma los resultados esperados, por ser la densidad de la arena significativamente mayor a la densidad del EPS. b) Se confirma el hecho de que mientras aumenta el porcentaje de sustitución de

arena por EPS en el hormigón, la resistencia a compresión disminuye con respecto al hormigón de peso normal. c) Todos los hormigones obtenidos en esta investigación presentan valores de resistencia a compresión aptos para su uso como hormigón estructural, ya que el mínimo valor obtenido en la resistencia es de 205 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo los hormigones que superan el 60% de sustitución de arena por EPS presentan un grado de confiabilidad menor al 95% establecido en el diseño experimental. d) Los hormigones aligerados con EPS son una alternativa que puede ser usada en elementos no estructurales, como paneles divisorios u otros elementos que no soportan carga y también como material de relleno, pero además son una alternativa de hormigón estructural en construcciones a pequeña escala como viviendas de hasta dos niveles sin grandes luces, o proyectos de vivienda social. (Lituma y Zhunio, 2015, p.53).

Los bloques de concreto son materiales prefabricados diseñado para la construcción de mampostería. Ahora bien, el concreto actualmente en nuestro país es uno de los materiales más utilizados para la construcción, lo que da oportunidad de innovar utilizando perlas de poliestireno en combinación con el mismo. La finalidad de este presente trabajo es realizar un diseño y un análisis comparativo de resistencia a compresión entre los bloques tradicionales y bloques de concreto con perlas de poliestireno según las normas Covenin 42-82. Para poder cumplir con los objetivos de esta investigación se elaboraron veinticuatro (24) bloques de concreto sustituyéndose este mismo por perlas de poliestireno, y se realizaron ocho (8) bloques de concreto tradicional. Luego de veintiocho (28) días de realizados los bloques se obtuvieron diversos resultados, los cuales se analizaron detalladamente dando como resultado disminución en el peso, bajos costos de producción y mayor resistencia a compresión a los bloques experimentales con perlas de poliestireno en un 75% y 15%. (Gonzales, 2016, p.38).

La presente investigación se fundamenta en la teoría de la tecnología del concreto, en los principios básicos de la resistencia de materiales, así como en los estudios científicos recientes realizados sobre la resistencia del concreto elaborado con la sustitución del agregado grueso por tecnopor.



Debido a la importancia que tienen las losas en el peso de las construcciones, el presente estudio pretende entregar información respecto del comportamiento y/o desempeño del poliestireno expandido modificado (MEPS) en losas unidireccionales fabricadas con hormigón liviano, siendo una alternativa para el uso de grandes volúmenes de desechos no degradables derivados de procesos de construcción.

Mediante la presente investigación, se busca determinar la resistencia a compresión del concreto con sustitución del agregado grueso por tecnopor, los resultados beneficiaran a las empresas constructoras, a los investigadores y a la sociedad en general, al contribuir en la disminución del peso total de la masa de concreto en sí.

El esfuerzo que el concreto puede resistir como material compuesto está determinado principalmente, por las características del mortero (mezcla de cemento, arena y agua), de los agregados gruesos y de la interface entre estos dos componentes. Debido a lo anterior, morteros con diferentes calidades y agregados gruesos con diferentes características (forma, textura, mineralogía, resistencia, etc.) pueden producir concretos de distintas resistencias (Cerón et al. 1996)

Por lo expuesto anteriormente se plantea la siguiente pregunta. ¿Cuál es el efecto de la sustitución del agregado grueso por tecnopor en la densidad y resistencia del concreto?

El concreto es un material constituido por la mezcla de ciertas proporciones de cemento, agua y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción (Díaz, 2010, p.31).

El concreto es un material compuesto formado por partículas de material granular grueso (agregados minerales o rellenos) embebidos en una matriz dura de material (cemento o ligante) que llena los espacios vacíos entre las partículas y burbujas manteniéndolas juntas.

De estas definiciones se puede conceptualizar que el concreto es un producto híbrido cuyas características son el resultado de los aportes de las reacciones físico químicas de la interacción de cada componente.

El concreto es la mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia. El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto. (Abanto, 2009, p.35).

Las características del concreto pueden variar en un grado considerable, mediante el control de sus ingredientes, constituido por la mezcla apropiada de cemento, agregado fino (arena), agregado grueso (piedra chancada) y agua. Por tanto, para una estructura específica, resulta económico utilizar un concreto que tenga las características exactas necesarias, aunque esté débil en otras (Osorio, 2018, p.29).

**La trabajabilidad:** Es una propiedad muy importante para muchas aplicaciones del concreto. En esencia, es la facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de la homogeneidad.

**Durabilidad:** El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgastes, a los cuales estará sometido en el servicio.

**Impermeabilidad:** Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla.

**Resistencia:** Es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación. Por lo general se determina por la resistencia final de una probeta en compresión. Como el concreto suele aumentar su resistencia en un periodo largo, la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad.

Las principales propiedades del concreto fresco: Trabajabilidad, consistencia, compactación, segregación, exudación, contracción, peso unitario, contenido de aire.

En el estado endurecido el concreto presenta las siguientes propiedades: Resistencia mecánica, durabilidad, impermeabilidad, estabilidad volumétrica, elasticidad, etc.

### **Resistencia a la compresión:**

(Neville, 1999, p.75). Indica que algunas propiedades del concreto endurecido están relacionadas con esta resistencia, como son: densidad, impermeabilidad, durabilidad, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, resistencia a la tensión, resistencia a los sulfatos. Esto no quiere decir que estas propiedades sean una función simple y única de la resistencia a la compresión, sino que, un concreto de mayor resistencia a la compresión tendrá mejores propiedades

Los principales factores que gobiernan la resistencia del concreto son los siguientes: relación agua/materiales cementantes, condiciones de curado (humedad y temperatura), edad, características y cantidad del material cementante, características y cantidad de los agregados, tiempo de mezclado, grado de compactación y el contenido de aire (Práctica estándar para el curado del concreto, ACI 308).

Cualquier tipo de vacíos llenos de aire reduce la resistencia del concreto en una proporción de 5% de reducción de resistencia por cada 1% de aumento en el volumen de los vacíos llenos de aire (Mather & Ozyildirim, 2004, p.32).

Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco son las de manejabilidad, resistencia, durabilidad y economía (Céspedes, 2003, p.26).

### **Dosificación de una mezcla de concreto.**

Las proporciones de la mezcla de concreto que cumpla con dichas características con los materiales disponibles, se logra mediante el sistema de prueba y error o el sistema de ajuste y reajuste.

Dicho sistema consiste en preparar una mezcla de concreto con unas proporciones iniciales y calculadas por diferentes métodos. A la mezcla de prueba se le realizan los

diferentes ensayos de control de calidad como asentamiento, pérdida de manejabilidad, masa unitaria, tiempos de fraguado y resistencia a la compresión.

Estos datos se comparan con la especificación y si llegan a ser diferentes o no cumplen con la expectativa de calidad se reajustan las cantidades, se elabora nuevamente la mezcla que debe cumplir todos los ensayos de control de calidad, si nuevamente no cumple los requisitos exigidos es necesario revisar los materiales, el método del diseño y nuevamente otra mezcla de concreto hasta ajustar los requisitos exigidos por la especificación.

### **Materiales y ensayos:**

La propiedad mecánica más preponderante del concreto es su resistencia a la compresión,  $f'c$ , la cual depende de muchos factores como la calidad y proporción de sus materiales, la edad, la forma de elaboración y manejo del concreto fresco y su curado. Los principales factores que influyen en la resistencia se describen a continuación.

### **Agregados:**

Los agregados constituyen los componentes predominantes del concreto, su selección es importante debiendo consistir en partículas que soporten y resistan las condiciones de la intemperie, además, no deben contener materiales que produzcan efectos perjudiciales. Para el uso eficaz del cemento, es conveniente que la gradación de los agregados sea continua (Céspedes, 2003, p.28).

Los agregados o áridos ocupan aproximadamente las tres cuartas partes del volumen del concreto, su uso tiene la finalidad de disminuir costos, brindar resistencia a la aplicación de carga y a la abrasión, además contrarrestar la filtración de humedades y la acción de otros agentes externos.

Los agregados, normalmente obtenidos de cantera o de explotaciones en fuentes hídricas superficiales, son todo material se entiende todo material granular como la arena, la grava, piedra triturada o residuos de hierro de los hornos, que son usados con un medio cementante para formar concretos o morteros (ASTM C125). La proporción de agregados oscila entre setenta a ochenta por ciento de la mezcla que se prepare. La

forma, textura y angular entre otras características del material pétreo tienen especial efecto en la resistencia y durabilidad del concreto. (Serrano, 2010, p.34).

Los agregados constituyen los componentes predominantes del concreto, su selección es importante debiendo consistir en partículas que soporten y resistan las condiciones de la intemperie, además, no deben contener materiales que produzcan efectos perjudiciales. Para el uso eficaz del cemento, es conveniente que la gradación de los agregados sea continua (Céspedes, 2003, p.31).

Son los agregados que provienen de la explotación de fuentes naturales tales como depósitos fluviales (arenas y gravas de ríos) o de glaciales y de canteras de diversas rocas. Se pueden aprovechar en su gradación natural o triturándolos mecánicamente, según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas, dependiendo del tipo de hormigón que se desea fabricar.

#### **Clasificación de los agregados:**

Según, (Abanto, 2009, p.14) “Tecnología del concreto”. Los agregados se clasifican básicamente en agregado grueso y agregado fino.

#### **Agregado fino:**

(Neville, 1999, p.18), indica que el agregado fino es aquel que pasa el tamiz 3/8” y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas y cumple con la NTP 400.037. La granulometría del agregado fino empleado en un trabajo determinado debe ser razonablemente uniforme. Las variaciones de más o menos 0.2 en el módulo de fineza pueden ser causa de rechazo. El agregado fino deberá contener suficiente cantidad de material que pasa la malla N° 50 si se desea obtener adecuada trabajabilidad en la mezcla).

(Rivva, 2007, p.28) afirma que el agregado fino debe tener un módulo de fineza entre 2.3 y 3.1. Ello no excluye la posibilidad de emplear agregados con módulos de fineza mayores o menores si se toman las precauciones adecuadas en la selección de las proporciones de la mezcla. Debe estar compuesto de partículas limpias de perfil angular duras y compactas libre de materia orgánica u otras sustancias dañinas.

El agregado fino es aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa al tamiz 3/8" y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037. Podrá consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactas y resistentes. Debe estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

### **Agregado Grueso.**

Según (Rivva, 2007, p.42). En su libro "Tecnología del Concreto". Diseño de mezclas., el agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas y que cumple con la norma NTP 400.037; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

Se denomina agregado grueso al material retenido en el tamiz N° 4 y cumple los límites establecidos en la NTP 400.037. Puede consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. Debe estar conformado por partículas limpias, estables, libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas, de perfil preferentemente angular o semiangular, duras, compactas, resistentes y de textura preferentemente rugosa (Neville, 1999, p.47).

La resistencia a la compresión del agregado no será menor de 600 kg/cm<sup>2</sup>. Estará graduado dentro de los límites especificados en la norma NTP 400.037. La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 1/2" y no más de 6% del agregado que pasa la malla 1/4".

El tamaño máximo del agregado a tomar será:

1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados ó

1/3 de la altura de las losas ó 3/4 del espacio libre mínimo entre varillas individuales de refuerzo.

Para el caso de ser necesario el lavado del material este debe hacerse con agua libre de materia orgánica, sales o sólidos en suspensión.

### **Cemento:**

(Abanto, 2009, p.14). Define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. También podemos decir de manera general que el cemento es cualquier material que posee propiedades cohesivas

El cemento empleado en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos químicos y físicos que se indican: (Rivva, 2007, p.19)

Las especificaciones para cementos Portland de la Norma ASTM C 150 o NTP, en el caso de los cementos Tipo I (NTP 334.009), Tipo II (NTP 334.038), Tipo V (NTP334.040)

Las especificaciones para cementos hidráulicos Combinados de la Norma ASTM C 595 en el caso de los cementos IP y Tipo IP (M) (NTP 334.044)

Las especificaciones ASTM y/o NTP correspondientes para otros tipos de Cemento si los hubiera.

### **Componentes químicos:**

Silicato dicálcico, es el causante principal de la resistencia posterior de la pasta de cemento.

Silicato Tricálcico, el cual le confiere su resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación.

Aluminato Tricálcico, el yeso agregado al cemento portland durante la trituración o molienda en el proceso de fabricación se combina con para controlar el tiempo de fraguado.

Aluminio-Ferrito tetra cálcico, influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.

Componentes menores: oxido de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio. (Abanto, 2009, p.16)

El cemento portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual se obtiene de las materias primas, finalmente molidas y mezcladas calentándose hasta principios de la fusión (1400– 1450 C°) cuando se mezcla con agua, ya sea solo o con combinaciones con arena, piedra u otros materiales similares tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida (Abanto, 2009, p.15)

Según (Rivera, 2011, p.23) los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento Portland Tipo I y las proporciones generales en que intervienen son como se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 1**  
**Composición química del cemento**

<i>Items</i>	<i>ASTM C150</i>	
	<i>Units</i>	<i>Specification</i>
	<i>Chemical analysis</i>	
<i>SiO<sub>2</sub></i>	%	≤ 22.0
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	%	≤ 5.80
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	%	≤ 4.00
<i>CaO</i>	%	≥ 59.00
<i>MgO</i>	%	≤ 6.00
<i>SO<sub>3</sub></i>	%	≤ 3.0

Fuente: Norma ASTM C-150

Existen diferentes tipos de cemento que son:

**TIPO I:** Para uso general en la construcción con hormigón en condiciones normales, destinados a usos generales: estructuras, pavimentos, bloques, tubos de hormigón.

**TIPO II:** Adecuado en general para obras hidráulicas por su calor de hidratación moderado y su regular resistencia a los sulfatos.

**TIPO III:** Rápida resistencia alta, recomendable para sustituir al tipo I en obras de emergencia; adquiere una determinada resistencia, en igualdad de condiciones, en la tercera parte del tiempo que necesita para ello el cemento tipo I.

**TIPO IV:** De bajo calor, adecuado para la construcción de grandes espesores (presas) porque su calor de hidratación es muy reducido.



**TIPO V:** De alta resistencia a los sulfatos, recomendable en cimentaciones expuestas a la acción de aguas sulfatadas y agresivas.

## **TECNOPOR**

El poliestireno expandido o EPS es un material plástico espumado inerte y no degradable. Debido a sus propiedades físicas y características técnicas, el poliestireno expandido es ampliamente utilizado en el sector de la construcción, principalmente como aislamiento térmico y acústico, así como en la industria de envases y embalajes teniendo múltiples aplicaciones.

## **PROPIEDADES FÍSICAS DEL EPS**

### **Densidad**

Los productos fabricados con poliestireno expandido se muestran como materiales espumados de gran ligereza. Dependiendo de la aplicación del EPS, sus densidades varían entre 10 kg/m<sup>3</sup> hasta los 50 kg/m<sup>3</sup>.

### **Resistencia mecánica**

(Rodríguez, 2017, p.48) señalan que una propiedad de gran importancia en los materiales de EPS es su estabilidad mecánica. Es relevante destacar que, aunque se les considere espumas rígidas, su comportamiento visco-elástico no es igual al de un plástico sólido y rígido. ANAPE (1992) por su parte afirma que la resistencia mecánica de los EPS debe ser evaluada considerando 4 características:

Resistencia a la compresión

Resistencia a la flexión

Resistencia a la tracción

Resistencia al cizalle o esfuerzo cortante

Destacan entre estas características la resistencia a la compresión, la que está directamente relacionada con la densidad del material, siendo importantes también la forma de la celdilla, el tiempo en uso y la temperatura a la que se realiza la prueba.

Esto resulta claro si pensamos que al aumentar la densidad del material, aumenta el grosor de las paredes de las celdillas dentro de las perlas lo que permite reportar mayor resistencia a la compresión.

El aumento paralelo de la resistencia a la compresión, la densidad del material y el módulo de elasticidad, resultan del cociente entre el valor de la resistencia a la compresión en zona elástica y su deformación (León, 2013, p.26).

### **Tensión de compresión**

Esta propiedad es requerida en los productos de EPS utilizados principalmente como elementos arquitectónicos, por ser sometidos a carga como suelos, cubiertas, aislamiento perimetral de muros, etc. En la práctica la deformación de EPS en estas aplicaciones sometidas a carga es muy inferior al 10% (León, 2013, p.32).

### **Propiedades de aislamiento térmico**

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

El EPS se construye con una gran cantidad de esferas de poliestireno soldadas unas a otras y que forman una estructura de geometría muy variada. Las perlas contienen aire en su interior de tal manera que son huecas en un 97-98% de su volumen. El aire atrapado dentro de la estructura funciona como un magnífico aislante térmico (León, 2013, p.24).

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

- Conducción en el poliestireno
- Conducción entre el aire atrapado
- Convección por el movimiento de las moléculas de aire
- Radiación a través de las paredes de las celdillas

Se puede afirmar que como en el caso de otros plásticos celulares, al disminuir la densidad aparente del material, disminuye la conductividad térmica del mismo, sin embargo a densidades aparentes muy bajas, se presenta un incremento de conductividad térmica atribuido al aumento que se produce en la transmisión de calor por el efecto de calor de radiación (Klempner y Frisch, 1994, p.68).

### **Propiedades de aislamiento acústico**

Como en otras estructuras poliméricas, la capacidad de aislamiento acústico del EPS depende fundamentalmente de la densidad del poliestireno en la espuma. El EPS absorbe sonido en un rango de frecuencias entre 3500 y 4500 Hz. Para incrementar ese rendimiento el EPS se combina con otros materiales para formar barreras al sonido tipo “sándwich” ya sea con maderas o bien laminadas de otros plásticos (León, 2013, p.34).

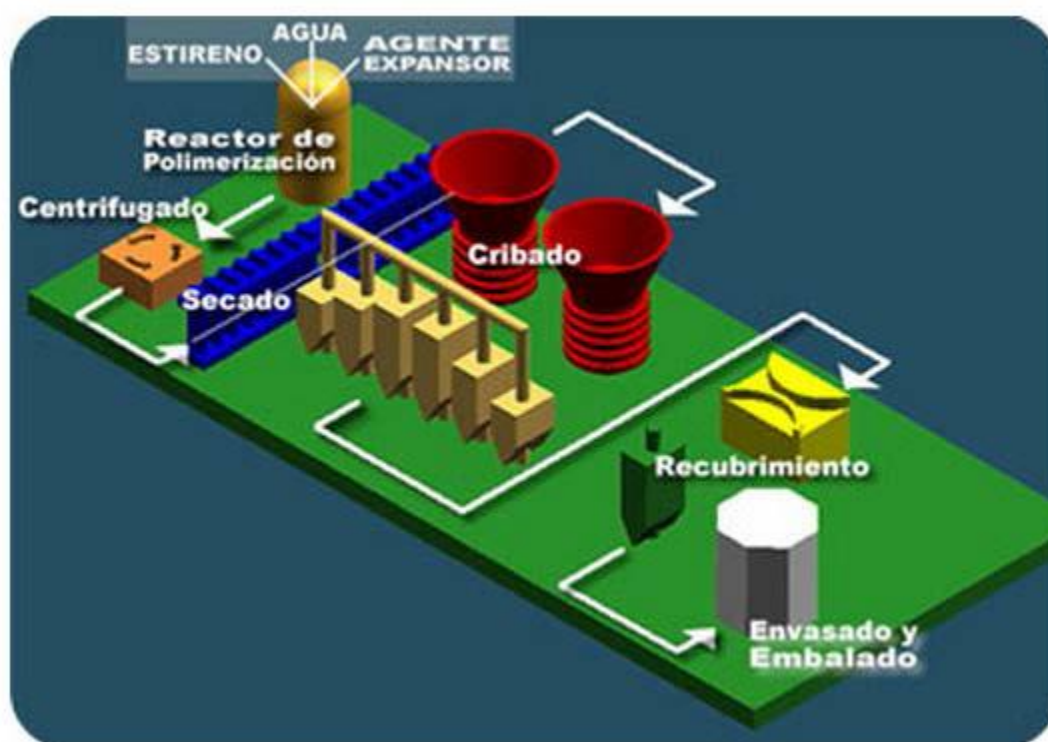
Las espumas de EPS están formadas por cuerpos cerrados y soldados entre sí, por tanto para mejorar sus capacidades de aislamiento acústico conviene favorecer la comunicación de aire entre las celdillas. Con este fin se ha desarrollado un proceso de calandrado sobre placas de EPS convencionales, el cual comprime y rompe capas de la estructura para después permitir la recuperación del material casi por completo a su tamaño original. Por otra parte esta técnica también aporta una disminución notable en la rigidez de la espuma.

### **Proceso de obtención de las perlas EPS**

El poliestireno expandible es la materia prima que da lugar a la obtención del poliestireno expandido (EPS). Esta materia prima, al igual que todos los materiales plásticos, es un derivado del petróleo. Sin embargo, el 94% del petróleo está destinado a combustibles para transporte y calefacción y tan solo el 6% restante a la petroquímica (fabricación de productos plásticos y químicos). Debido a que el poliestireno expandible es un polímero del estireno, al procesar el gas natural y el petróleo, se

obtiene principalmente el etileno y varios compuestos aromáticos; y de ellos el hidrocarburo aromático denominado estireno.

El poliestireno expandible se consigue entonces mediante el proceso de polimerización del monómero de estireno con adición de un agente expansor denominado pentano, a través de un reactor con agua (Poliones S.A de C.V, 2013). El pentano no contiene compuestos con cloro o flúor, es decir gases de la familia de los CFCs, HCFCs y HFCs, que son conocidos por sus efectos dañinos sobre la capa de ozono.



*Figura 1. Proceso de obtención EPS*

Fuente: ANAPE, 2015

La materia prima es colocada en máquinas especiales denominadas pre-expansores, estas máquinas son generalmente cilíndricas de 1m de diámetro y 2m de altura, en donde es sometida a altas temperaturas generadas por el vapor de agua, estas temperaturas oscilan entre los 80°C a 100°C (Lituma y Zhunio, 2015, p.24).

Debido a la influencia del calor, el poliestireno expandible se ablanda y es capaz de aumentar su volumen hasta 50 veces, dando lugar a la generación de las perlas de poliestireno expandido (Hohwiller & Köhling, 1969) (Ranjbar & Mousavi, 2013) (Poliones S.A de C.V, 2013). En esta etapa, denominada pre-expansión, las perlas alcanzan aproximadamente el 95% de su tamaño final (Ossa, 2004, p.39).

Dependiendo del tiempo de exposición de la materia prima y de la temperatura, la densidad aparente puede disminuir desde los 630 kg/m<sup>3</sup> a valores entre los 10 a 35 kg/m<sup>3</sup> (Lituma y Zhunio, 2015, p.36). Luego de culminado el proceso de pre-expansión, las perlas de poliestireno expandido son transportadas a grandes silos para ser secadas y almacenadas, y así alcanzar un nivel de expansión superior debido a que el vacío interior generado en la pre-expansión se compensa con la difusión de aire (Procopor LTDA, 2015), dando como resultado una masa continua parecida a un panel de abejas, la cual se encuentra compuesta de varios polígonos combinados entre sí sin dejar ningún espacio. Estas partículas se componen de alrededor del 98% de aire y 2% de poliestireno (Lituma y Zhunio, 2015, p.62), lo que le proporciona valiosas propiedades físicas y mecánicas.

### **Propiedades químicas**

Al igual que varios de los productos a base de polímeros, el EPS es susceptible a daños frente a la radiación UV, es decir que cuando se encuentra expuesto durante un periodo largo de tiempo se torna amarillo, lo cual es un indicativo de la degradación del polímero. Sin embargo, en esta investigación el EPS va a ser introducido en el hormigón, por lo que es poco probable que este efecto ocurra ya que el EPS no se encuentra expuesto directamente a los efectos de la radiación UV (Lituma y Zhunio, 2015, p.42).

De acuerdo a la naturaleza de los diferentes productos químicos, el comportamiento del EPS puede variar. Es así como (ANAPE, 2015), proporciona una tabla en la cual analiza la estabilidad del EPS frente a varias sustancias activas.

**Tabla 2.**  
***Propiedades químicas EPS***

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

Fuente: ANAPE, 2015

## Método ACI Para Diseño De Mezclas De concreto.

El método estudiado en el presente trabajo tiene como base el procedimiento del American Concrete Institute elaborado por el Comité ACI 211. El método americano ACI es el más conocido y ampliamente usado, fundamentado en el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams, que consiste en seguir en forma ordenada una secuencia de pasos y determinar la cantidad de cada material en peso y en volumen, para 1m<sup>3</sup> de concreto.

Los factores más importantes que deben considerarse al seleccionar el proporcionamiento de los agregados son en el orden propuesto por el Instituto Americano del Concreto (ACI 211), se incluyen en los siguientes pasos:

### **PASO 1: Elección del revenimiento para cumplir los requisitos de trabajo:**

Cuando no se especifica el revenimiento, puede seleccionarse un valor apropiado para la obra de los que aparecen en Tabla 03.

**Tabla 3:**

*Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción [ACI 211]*

Tipos de Construcción	Revenimiento, cm	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	8	2
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructuras sencillos	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas para edificios	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	8	2

Fuente: Método ACI 211

El revenimiento se puede incrementar cuando se emplee aditivos químicos, siempre que la mezcla de concreto tenga la misma o más baja relación Agua/Cemento y no exhiba segregación o sangrado excesivo. \*También se puede incrementar 2 cm, cuando los métodos de compactación no sean por vibrado.

**PASO 2: Elección del tamaño máximo del agregado:** Los agregados de tamaño máximo o agregados bien graduados tienen menos vacíos que los tamaños pequeños.

Por lo tanto, concretos con tamaños más grandes requieren menos mortero por unidad de volumen del concreto.

Generalmente el tamaño máximo del agregado debe ser el más grande que esté económicamente disponible y el que resulte compatible con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo del agregado grueso debe exceder de  $1/5$  de la menor dimensión entre los costados de las cimbras,  $1/3$  del espesor de la losa, ni  $3/4$  de la separación mínima entre varillas de refuerzo o paquetes de varillas.

**PASO 3: Determinación del agua de mezclado y contenido de aire:** La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir determinado revenimiento, depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula y granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incluido.

En la Tabla 04, aparecen valores estimados del agua de mezclado requerida para concretos hechos con diversos tamaños máximos de agregados, con o sin aire incluido. Dependiendo de la textura y forma del agregado, los requerimientos de agua de mezclado pueden estar por encima o por debajo de los valores tabulados, pero son suficientemente precisos para una primera estimación.

Tales diferencias en los requerimientos de agua no se reflejan necesariamente en la resistencia, ya que existen otros factores que compensan y que pueden estar incluidos. Por ejemplo, con un agregado grueso redondo y uno angular, ambos similarmente bien graduados y de buena calidad, pueden producirse concretos de aproximadamente igual resistencia a la compresión utilizando la misma cantidad de cemento, a pesar de las diferencias en la relación agua/cemento resultante de los distintos requerimientos de agua de mezclado.

Para el caso de que sea necesario o deseable incluir aire, se señalan tres niveles de contenido de aire para cada tamaño de agregado, los que dependen del propósito de la inclusión de aire y de la severidad de la exposición, si la inclusión de aire está en función de la durabilidad [ACI 211].



**Exposición Ligera:** cuando se desee la inclusión de aire por otros efectos benéficos que no sean la durabilidad, por ejemplo, para mejorar la cohesión o trabajabilidad, o para incrementar la resistencia del concreto con bajo factor de cemento, pueden emplearse contenidos de aire inferiores a los necesarios para la durabilidad. Esta exposición incluye servicio interior o exterior en climas en los que el concreto no estará expuesto a agentes de congelación y deshielo.

**Exposición Moderada:** implica el servicio en climas en donde es probable la congelación, pero en los que el concreto no estará expuesto continuamente a la humedad o al agua corriente durante largos periodos antes de la congelación, ni agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos.

**Exposición Severa:** el concreto expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, o bien, cuando el concreto pueda resultar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua corriente antes de la congelación. Ejemplos de estos son: pavimentos, pisos de puentes, guarniciones, desagües, aceras, revestimiento de canales, tanques exteriores para agua o resumideros [ACI 211].

**Tabla 4**

*Requerimientos de Agua aproximada de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado [ACI 211].*

<b>Agua, Kg/m<sup>3</sup> de concreto para tamaño máximo nominal de agregado indicado</b>								
	<b>3/8"</b>	<b>½"</b>	<b>¾"</b>	<b>1"</b>	<b>1 ½"</b>	<b>2"</b>	<b>3"</b>	<b>6"</b>
<b>Revenimiento, pulgadas</b>	<b>10</b>	<b>12.5</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>150</b>
<b>Concreto sin aire incluido</b>								
De 1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
De 3 a 4	228	216	204	193	181	169	145	124
De 6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	-
<b>Concreto con aire incluido</b>								
De 1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107
De 3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
De 6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente: Método ACI 211

**PASO 4: Elección de la relación agua/cemento:** la relación agua/cemento requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la durabilidad y las propiedades del acabado.

Puesto que los diferentes agregados y cementos generalmente producen distintas resistencias empleando la misma relación agua/cemento, es muy deseable establecer una relación entre la resistencia y la relación agua/cemento para los materiales que de hecho van a emplearse. En ausencia de estos datos, pueden tomarse de la tabla N° 06 valores aproximados y relativamente conservadores para concretos que contengan cemento Portland Tipo I.

**Tabla 5**

*Relaciones entre la relación Agua/Cemento y la resistencia a la compresión del concreto [ACI 211]*

<b>Resistencia a la compresión a los 28 días*</b>	<b>Relación agua / cemento (por peso)</b>	
	<b>Kg/cm2</b>	<b>Concreto sin incluir aire</b>
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Fuente: Método ACI 211

Los valores indican las resistencias promedio estimadas para concreto conteniendo un porcentaje de aire no mayor que el indicado en la tabla N° 04 para la relación agua cemento constante. La resistencia del concreto se reduce conforme el contenido de aire aumenta. La resistencia está basada en cilindros de 15 x30 cm.

El promedio de la resistencia seleccionada en la Tablas N° 06, debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente de error para condición de exposiciones severas, la relación agua cemento debe mantenerse baja, aun cuando los requerimientos de resistencia puedan cumplirse con un valor mayor. En la Tabla 08, se establecen los valores límites.

**Tabla 6**

*Relaciones agua/cemento máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas.*

<b>Tipos de estructuras</b>	<b>Estructuras continuas o frecuentemente mojadas y expuestas congelación y deshielo</b>	<b>Estructuras expuestas al agua de mar o a sulfatos</b>
Secciones esbeltas y secciones con menos de 3 cm.	0.45	0.40
Todas las demás estructuras	0.50	0.45

Fuente: Método ACI 211

**PASO 5: Cálculo del Contenido de Cemento:** la cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se rige por las determinaciones expuestas en el paso 3 y 4. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (paso 3), dividido entre la relación Agua/Cemento (paso 4).

Sin embargo, la especificación incluye un límite mínimo separado sobre el cemento aparte de los requerimientos para la resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.

**PASO 6: Estimación del contenido de agregado grueso:** los agregados con tamaño máximo y granulometría esencialmente iguales producirán concreto con una trabajabilidad satisfactoria cuando un volumen dado de agregado grueso, seco y varillado, es utilizado por unidad de volumen de concreto.

Valores apropiados de volumen para el agregado grueso están dados en la Tabla 07. Se puede ver que para una trabajabilidad igual, el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto depende sólo de su tamaño máximo y del módulo de finura del agregado fino. Este volumen se convierte a masa seca del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por la masa unitaria de varillado en seco por metro cúbico de agregado grueso [ACI 211].

**Tabla 7**

*Volumen de agregado grueso por unidad de volumen del concreto [ACI 211]*

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Volumen de agregado varillado en seco, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
mm	Plg.	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

Fuente: Método ACI 211

**PASO 7: Estimación del contenido de agregado fino:** al término del paso 6, todos los ingredientes del concreto han sido estimados excepto el agregado fino, cuya cantidad se determina por diferencia. Se pueden emplear cualquiera de estos procedimientos: 1.- método por “peso”, 2.- método de “volumen absoluto”. Si se desea obtener un cálculo teóricamente exacto del peso del concreto fresco por metro cubico, se puede utilizar la siguiente formula:

$$U_m = 10G_a(100 - A) + C_m(1 - G_a/G_c) - W_m(G_a - 1)$$

De donde:

**U<sub>m</sub>** = Peso volumétrico del concreto fresco.

**G<sub>a</sub>** = Promedio obtenido de los pesos específicos de los agregados, fino y grueso combinados al granel.

**G<sub>c</sub>** = Peso específico del cemento, por lo general es de 3.15.

**A** = Contenido de aire, en %.

**W<sub>m</sub>** = Requerimiento de agua de mezclado Kg/m<sup>3</sup>.

**C<sub>m</sub>** = Requerimiento de cemento, Kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 8***Cálculo tentativo del peso del concreto fresco*

Tamaño máximo del agregado		Calculo tentativo del peso del concreto, Kg/m <sup>3</sup>	
Mm	Plg.	Concreto sin incluir aire	Concreto con aire incluido
9.5	3/8"	2280	2200
12.5	1/2"	2310	2230
19	3/4"	2345	2275
25	1"	2380	2290
37.5	1 1/2"	2410	2350
50	2"	2445	2345
75	3"	2490	2405
150	6"	2530	2435

Fuente: Método ACI 211

En este caso, un procedimiento más exacto para calcular la cantidad de volumen total desplazado por los componentes conocidos (agua, aire, cemento y agregado grueso) se restan del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado por cualquier componente en el concreto es igual a su peso dividido entre la densidad de ese material.

**PASO 8: Ajustes por el contenido de humedad del agregado:** debe considerarse la humedad del agregado para que pueda pesarse correctamente. Por lo general, los agregados están húmedos, y su peso en seco habrá que incrementar el porcentaje de agua que contenga, tanto absorbida como superficial. El agua de mezclado que se agrega la mezcla, debe reducirse en una cantidad igual a la humedad libre contenida en el agregado, es decir, humedad total menos absorción.

**PASO 9: Ajustes en la mezcla de prueba:** las proporciones calculadas de la mezcla deben verificarse mediante de mezclas de prueba, fabricaciones y curados de muestras de concreto para pruebas a tensión y compresión en el laboratorio o por medio de mezclas reales en el campo. Sólo debe usarse el agua suficiente para producir el revenimiento requerido, independientemente de la cantidad supuesta al dosificar los componentes de la prueba. Deben verificarse el peso unitario y el rendimiento del concreto, así como el contenido de aire. También debe tenerse cuidado de lograr la

trabajabilidad apropiada y ausencia de segregación, así como las propiedades del acabado [ACI 211].

### **Fabricación de mezcla y cilindros de concreto.**

Para la fabricación de la mezcla se utilizó la mezcladora, teniendo separadas las porciones de los materiales (previamente pesadas) necesarias para cada tipo de mezcla de acuerdo a las cantidades que indica el proporcionamiento, se procedió a realizar la mezcla, como lo indica la norma NMX-C-159-ONNCCE-2004 “Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio.

Previamente se humedeció la mezcladora, cuando estuvo apagada la mezcladora se introdujo todo el agregado grueso y una parte de la cantidad total de agua (aproximadamente la mitad), se dejó revolver durante un minuto, posteriormente se introdujo el agregado fino, el cemento, arcilla y el resto del agua, se dejó revolver la mezcla durante 5 minutos, pasando este tiempo, se procedió a extraer haciendo uso de una carretilla y lampa.

Para eliminar la segregación, se depositó el concreto mezclado por la mezcladora en una carretilla limpia y húmeda, se mezcló con la pala hasta obtener una apariencia uniforme.

Inmediatamente se inició con el llenado de los moldes y las pruebas de caracterización de concreto fresco, realizando el muestreo como lo indica la norma NMX-C-161-ONNCCE-199710

Se fabricaron 27 probetas cilíndricas en el espacio que se encuentra ubicado casi al lado de donde se preparó el concreto de acuerdo a la norma NMX-C-159-ONNCCE-20042, se barrillo adecuadamente el concreto en cada una de las 3 capas de aproximadamente de igual espesor, con 25 golpes cada capa, que se distribuyeron uniformemente a toda la sección transversal del molde y para cada capa superior, permitiendo que la varilla penetre aproximadamente 10 mm dentro de la capa inmediatamente inferior, después de compactar cada capa se golpeó ligeramente con el martillo de hule las paredes del molde para eliminar lo más posible las oquedades que deja la varilla, se procede al enrase dejando un superficie plana y uniforme, para

evitar la evaporación del agua en los especímenes de concreto sin fraguar, se cubrió inmediatamente después de terminados con una bolsa impermeable.

La hipótesis planteada es si la sustitución del agregado grueso por tecnopor, disminuirá la densidad y elevará la resistencia del concreto.

Como objetivo general se busca determinar el efecto de la sustitución del agregado grueso por tecnopor para disminuir la densidad y elevar la resistencia del concreto.

Los objetivos específicos son los siguientes:

Elaborar un diseño de mezcla con porcentajes del 10%, 20% y 30% de sustitución del agregado grueso por Tecnopor para una resistencia estructural de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

Medir y comparar la resistencia a la compresión del concreto, en los diferentes niveles de sustitución.

Determinar el peso volumétrico del concreto en los diferentes niveles de sustitución.

Evaluar las características físicas en estado endurecido del concreto patrón y los experimentales.

## II. METODOLOGÍA

La presente investigación es aplicada, explicativa y de enfoque cuantitativo, en la cual se aplicaron las nuevas tecnologías halladas en el diseño de mezcla que cumplieron con los estándares de calidad y normatividad. Ya que esto permitió utilizar el tecnopor para fabricar probetas de concretos que cumplieron con las especificaciones de la Norma Técnica Peruana y las normas ASTM.

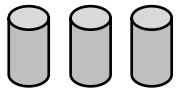

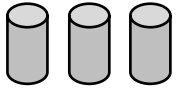
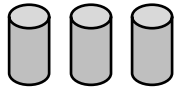
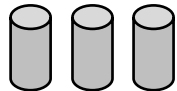
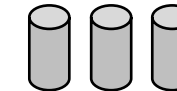
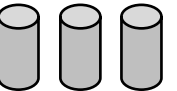

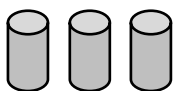
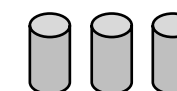


**Diseño de investigación:** El diseño de la investigación fue experimental, debido a que se manipulo el contenido del agregado grueso sustituyéndolo por tecnopor para evaluar su efecto en la resistencia a la compresión del concreto. Para ello se tuvo un diseño en bloque completo al azar donde el gradiente de variabilidad está dado por los días de curado y los porcentajes de sustitución del agregado grueso por tecnopor.

### Diseño de bloque completo al azar

Concreto sustituido por tecnopor.

**Tabla 9**

*Esquema del diseño experimental.*

Días de curado	Resistencia del concreto con la sustitución del agregado grueso por tecnopor.			
	Patrón	10%	20%	30%
07				
14				
28				

Fuente: Elaboración propia.



### **Población y muestra:**

**Población:** Para la realización de la presente investigación se tuvo como población de estudio al conjunto de todas las probetas de diseño de concreto según el estándar de construcción establecido  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .

Para lo cual, se tuvo como materiales a los agregados grueso y fino, cemento, tecnopor blanco entre otros.

Los agregados grueso y fino se obtuvieron de la cantera del río Santa ubicado en la localidad de Rumichuco y el tecnopor se recolectó de los establecimientos comerciales de la ciudad de Huaraz.

### **Muestra**

La muestra estuvo constituida por 36 probetas de concreto en su totalidad. De las cuales 09 fueron probetas de concreto patrón (convencional) sin ninguna sustitución, 09 probetas de concreto con el 10% de sustitución del agregado grueso por tecnopor, 09 probetas de concreto con el 20% de sustitución del agregado grueso por tecnopor y 09 probetas de concreto con el 30% de sustitución del agregado grueso por tecnopor.

**Tabla 10**

*Técnicas e instrumentos*

<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Observación	Guía de observación resumen. Fichas técnicas del laboratorio de los ensayos a realizar.

Fuente: Elaboración propia

Elaboración de guía de observación, para la toma de los datos recolectados en el laboratorio. Las guías fueron tomadas con respecto a los siguientes ensayos:

Ensayo Granulométrico para el agregado fino y agregado grueso

Ensayo de peso específico del agregado fino

Ensayo de peso específico del agregado grueso

Ensayo de peso unitario del agregado fino

Ensayo de peso unitario del agregado grueso

Contenido de humedad de los agregados

Diseño de mezcla

Elaboración de probetas

Ruptura de probetas

### **Procesamiento y análisis de la información.**

Para la presente investigación, el procesamiento de datos fue hecho en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Para realizar el análisis de los datos se tuvo en cuenta:

El cálculo de dosificación para el diseño de mezcla de concreto con la sustitución en un 10%; 20% y 30% del agregado grueso por tecnopor.

Representación con tablas, gráficos, porcentajes, promedios, varianzas, la prueba ANOVA para identificar las diferencias en las resistencias del concreto patrón y las experimentales.

### III. RESULTADOS

**Tabla 11**

*Contenido de Humedad del agregado fino*

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Peso de tara + MH	772.00	788.50
Peso de tara + MS	746.50	761.50
Peso de tara	165.60	172.80
Peso del agua	25.50	27.00
MS	580.90	588.70
Contenido de humedad (%)	4.39	4.60
Humedad Promedio (%)	<b>4.49</b>	

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz.

**Tabla 12**

*Contenido de Humedad del agregado grueso*

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Peso de tara + MH	1369.30	1453.20
Peso de tara + MS	1364.00	1449.00
Peso de tara	164.40	163.80
Peso del agua	5.30	4.20
MS	1199.60	1285.20
Contenido de humedad (%)	0.44	0.33
Humedad Promedio (%)	<b>0.38</b>	

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz.

**Tabla 13**

*Peso específico y absorción del agregado fino*

<b>MATERIAL :</b>		<b>ARENA GRUESA</b>	
	Peso de material saturado superficialmente seco		
<b>A</b>	: (aire)	300.00	300.00
<b>B</b>	: Peso del picnómetro + agua	669.80	669.80
<b>C = A + B</b>	:	969.80	969.80
<b>D</b>	: Peso del picnómetro + agua + material	856.40	856.40
<b>E = C - D</b>	: Volumen de masa + volumen de vacíos	113.40	113.40
<b>F</b>	: Peso de material seco en estufa	296.50	295.40
<b>G = C - (A - D)</b>	: Volumen de masa	109.90	108.80
<b>ABSORCION (%)</b>	: $((A-G)/G \times 100)$	<b>1.18</b>	<b>1.56</b>
<b>ABS. PROM. (%)</b>	:		<b>1.37</b>
<b>P.e. Bulk (Base Seca)</b>	= <b>F/E</b>	<b>2.61</b>	<b>2.60</b>
<b>P.e. Bulk (Base Saturada)</b>	= <b>A/E</b>	<b>2.65</b>	<b>2.65</b>
<b>P.e. Aparente (Base Seca)</b>	= <b>F/G</b>	<b>2.70</b>	<b>2.72</b>
<b>PROMEDIO</b>			
	<b>P.e. Bulk (Base Seca)</b>		<b>2.61</b>
	<b>P.e. Bulk (Base Saturada)</b>		<b>2.65</b>
	<b>P.e. Aparente (Base Seca)</b>		<b>2.71</b>

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz.

**Tabla 14**

*Peso específico y absorción del agregado grueso*

<b>MATERIAL</b>	<b>PIEDRA</b>		
<b>A</b>	: Peso de material saturado superficialmente seco (aire)	1041.00	1102.00
<b>B</b>	: Peso de material saturado superficialmente seco (agua)	642.00	678.00
<b>C = A - B</b>	: Volumen de masa + volumen de vacíos	399.00	424.00
<b>D</b>	: Peso de material seco en el horno	1033.50	1094.00
<b>E = C - (A - D)</b>	: Volumen de masa	391.50	416.00
<b>ABSORCION (%)</b>	: $((A-F)/F \times 100)$	<b>0.73</b>	<b>0.73</b>
<b>ABS. PROM. (%)</b>	:		<b>0.73</b>
<b>P.e. Bulk (Base Seca)</b>	= <b>D/C</b>	<b>2.59</b>	<b>2.58</b>
<b>P.e. Bulk (Base Saturada)</b>	= <b>A/C</b>	<b>2.61</b>	<b>2.60</b>
<b>P.e. Aparente (Base Seca)</b>	= <b>D/E</b>	<b>2.64</b>	<b>2.63</b>
<b>PROMEDIO</b>			
	<b>P.e. Bulk (Base Seca)</b>		<b>2.59</b>
	<b>P.e. Bulk (Base Saturada)</b>		<b>2.60</b>
	<b>P.e. Aparente (Base Seca)</b>		<b>2.63</b>

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz.

**Tabla 15**  
*Peso unitario suelto y compactado del agregado fino*

<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>			
<b>Ensayo N°</b>	<b>0 1</b>	<b>0 2</b>	<b>0 3</b>
Peso de molde + muestra	7605	7595	7625
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	4185	4175	4205
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario ( Kg/m <sup>3</sup> )	1508	1504	1515
<b>Peso unitario prom. ( Kg/m<sup>3</sup> )</b>		<b>1509</b>	
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>			
<b>Ensayo N°</b>	<b>0 1</b>	<b>0 2</b>	<b>0 3</b>
Peso de molde + muestra	8085	8075	8090
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	4665	4655	4670
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario ( Kg/m <sup>3</sup> )	1680	1677	1682
<b>Peso unitario prom. ( Kg/m<sup>3</sup> )</b>		<b>1680</b>	

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz.

**Tabla 16**  
*Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso*

<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>			
<b>Ensayo N°</b>	<b>0 1</b>	<b>0 2</b>	<b>0 3</b>
Peso de molde + muestra	27465	27460	27440
Peso de molde	7385	7385	7385
Peso de muestra	20080	20075	20055
Volumen de molde	13724	13724	13724
Peso unitario ( Kg/m <sup>3</sup> )	1463	1463	1461
<b>Peso unitario prom. ( Kg/m<sup>3</sup> )</b>		<b>1462</b>	
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>			
<b>Ensayo N°</b>	<b>0 1</b>	<b>0 2</b>	<b>0 3</b>
Peso de molde + muestra	28395	28420	28375
Peso de molde	7385	7385	7385
Peso de muestra	21010	21035	20990
Volumen de molde	13724	13724	13724
Peso unitario ( Kg/m <sup>3</sup> )	1531	1533	1529
<b>Peso unitario prom. ( Kg/m<sup>3</sup> )</b>		<b>1531</b>	

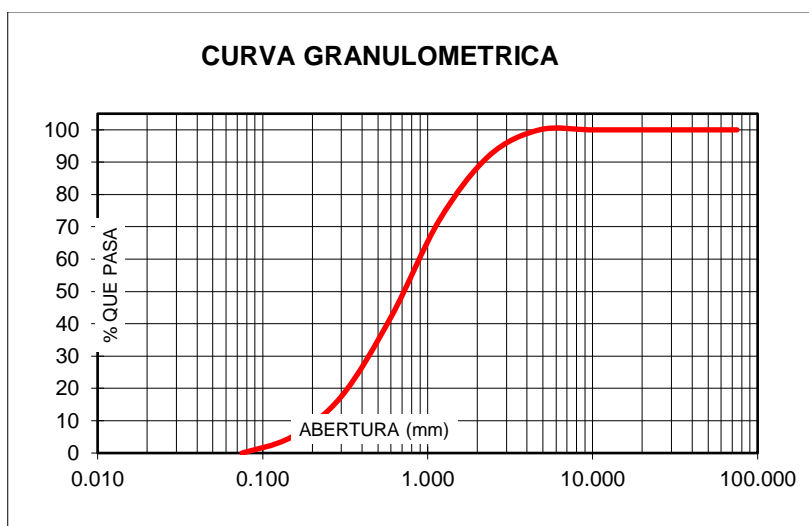
Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz.

**Tabla 17**  
*Granulometría del agregado fino*

TAMIZ	ABERT. (mm.)	PESO	%		% QUE
		RETEN. (gr)	RETENIDO	% RETENIDO	PASA
Nº			PARCIAL	ACUMULADO	
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 8	2.360	114.50	7.98	7.98	92.02
Nº 16	1.180	285.00	19.87	27.86	72.14
Nº 30	0.600	431.00	30.06	57.91	42.09
Nº 50	0.300	352.50	24.58	82.50	17.50
Nº 100	0.150	179.50	12.52	95.01	4.99
Nº 200	0.075	71.50	4.99	100.00	0.00
PLATO		0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		1434.00	100.00		

MODULO DE FINEZA : 2.7

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz.



**Figura 2**

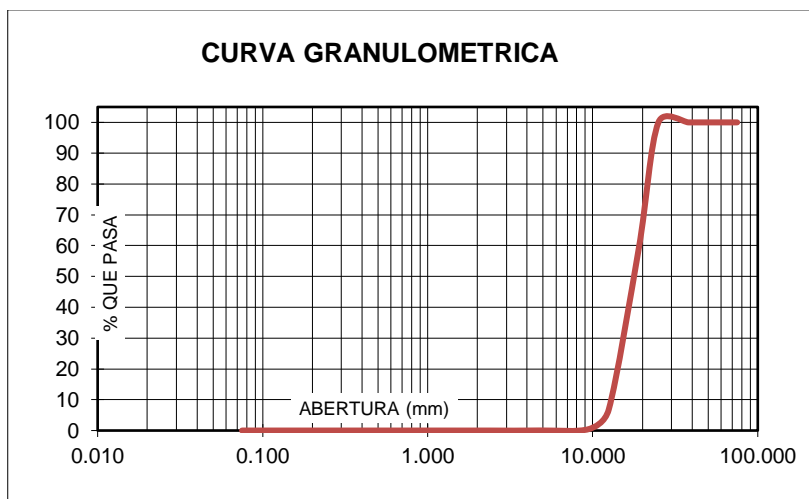
*Curva granulométrica del agregado fino*

**Tabla 18**  
*Granulometría del agregado grueso*

TAMIZ	ABERT. (mm.)	PESO	%		% QUE
		RETEN. (gr)	RETENIDO	% RETENIDO	PASA
Nº			PARCIAL	ACUMULADO	
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	5870.00	40.97	40.97	59.03
1/2"	12.500	7484.50	52.24	93.20	0.49
3/8"	9.500	903.50	6.31	99.51	0.02
Nº 4	4.750	67.00	0.47	99.98	0.00
Nº 8	2.360	3.50	0.02	100.00	0.00
Nº 16	1.180	0.00	0.00	100.00	0.00
Nº 30	0.600	0.00	0.00	100.00	0.00
Nº 50	0.300	0.00	0.00	100.00	0.00
Nº 100	0.150	0.00	0.00	100.00	0.00
Nº 200	0.075	0.00	0.00	100.00	0.00
PLATO		0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		14328.00	100.00		

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL : ¾"

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz.



**Figura 3**

*Curva granulométrica del agregado grueso*

**Tabla 19***Peso específico del tecnopor*

<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>			
<b>Ensayo N°</b>	<b>0 1</b>	<b>0 2</b>	<b>0 3</b>
Largo de muestra	0.10	27460	27440
Ancho de muestra	0.10	7385	7385
Peralte	0.025	20075	20055
Volumen de muestra	0.00025	0.00102	0.00229
Peso de muestra	0.0051	0.0203	0.0457
<b>Peso específico ( Kg/m3 )</b>		<b>20.00</b>	

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz.

**Tabla 20***Diseño de mezcla para el concreto patrón*

<b>DATOS</b>	<b>AGREGADO</b>	
	<b>Fino</b>	<b>Grueso</b>
Peso Unitario Suelto Kg/m3	1509	1462
Peso Unitario Compactado Kg/m3	1680	1531
Peso Específico Kg/m3 (seca)	2706	2635
Peso Específico Kg/m3 (saturada)	2646	2604
Módulo de Fineza	2.7	
Tamaño máximo		3/4"
% de Absorción	1.37	0.73
% de Humedad	4.49	0.38
Peso Específico - Cemento gr/cm3		3.1
Peso Específico - Agua Kg/m3		1000
F'c		280
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Resistencia requerida promedio:	F'cr	280
SLUMP	Δ	3"
Tamaño Máximo	TM	3/4"
Contenido de Aire	Vol	0.02
Contenido de Agua	Litros	204
	Vol	0.204
Relación Agua Cemento	A/C	0.578
Cantidad de Cemento	Kg	353
	Vol	0.11
Agregado Grueso	Kg	964.54
	Vol	0.37
Agregado Fino	Kg	801.32
	Vol	0.30

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz



**Tabla 21***Datos de diseño de concreto patrón*

<b>DATOS DE DISEÑO</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Cemento	Kg	353
Agregado Fino	Kg	801.32
Agregado Grueso	Kg	964.54
Agua	Litros	204

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 22***Correcciones de diseño del concreto patrón*

<b>CORRECIÓN POR HUMEDAD</b>		
Agregado Fino	Kg	837.29
Agregado Grueso	Kg	968.25
<b>HUMEDAD SUPERFICIAL</b>		
Agregado Fino	Litros	3.12
Agregado Grueso	Litros	-0.34
<b>APORTE DE AGUA A LA MEZCLA PATRÓN</b>		
Agregado Fino	Litros	25.00
Agregado Grueso	Litros	-3.32
Aporte de Agua	Litros	21.68
Cantidad de Agua Efectiva	Litros	182.32

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 23***Diseño de mezcla para el concreto experimental con 10% de sustitución*

<b>DATOS</b>	<b>AGREGADO</b>	
	<b>Fino</b>	<b>Grueso</b>
Peso Unitario Suelto Kg/m <sup>3</sup>	1509	1462
Peso Unitario Compactado Kg/m <sup>3</sup>	1680	1531
Peso Específico Kg/m <sup>3</sup> (seca)	2706	2635
Peso Específico Kg/m <sup>3</sup> (saturada)	2646	2604
Módulo de Fineza	2.7	
Tamaño máximo		3/4"
% de Absorción	1.37	0.73
% de Humedad	4.49	0.38
Peso Específico - Cemento gr/cm <sup>3</sup>		3.1
Peso Específico - Agua Kg/m <sup>3</sup>		1000
F'c		280
Peso específico del tecnopor		20
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Resistencia requerida promedio:	F'cr	280
SLUMP	Δ	3"
Tamaño Máximo	TM	3/4"
Contenido de Aire	Vol	0.02
Contenido de Agua	Litros	204
	Vol	0.204
Relación Agua Cemento	A/C	0.578
Cantidad de Cemento	Kg	353
	Vol	0.11
Agregado Grueso	Kg	868.09
	Vol	0.33
Tecnopor	Kg	0.732
	Vol	0.04
Agregado Fino	Kg	801.32
	Vol	0.30

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 24***Datos de diseño de concreto experimental con 10% de sustitución*

<b>DATOS DE DISEÑO</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Cemento	Kg	353
Agregado Fino	Kg	801.32
Agregado Grueso	Kg	868.09
Tecnopor	Kg	0.732
Agua	Litros	204

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 25***Correcciones de diseño del concreto experimental con 10% de sustitución*

<b>CORRECIÓN POR HUMEDAD</b>		
Agregado Fino	Kg	837.29
Agregado Grueso	Kg	868.09
<b>HUMEDAD SUPERFICIAL</b>		
Agregado Fino	Litros	3.12
Agregado Grueso	Litros	-0.31
<b>APORTE DE AGUA A LA MEZCLA 10% SUST.</b>		
Agregado Fino	Litros	25.00
Agregado Grueso	Litros	-2.99
Aporte de Agua	Litros	22.01
Cantidad de Agua Efectiva	Litros	181.99

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 26***Diseño de mezcla para el concreto experimental con 20% de sustitución*

<b>DATOS</b>	<b>AGREGADO</b>	
	<b>Fino</b>	<b>Grueso</b>
Peso Unitario Suelto Kg/m <sup>3</sup>	1509	1462
Peso Unitario Compactado Kg/m <sup>3</sup>	1680	1531
Peso Específico Kg/m <sup>3</sup> (seca)	2706	2635
Peso Específico Kg/m <sup>3</sup> (saturada)	2646	2604
Módulo de Fineza	2.7	
Tamaño máximo		3/4"
% de Absorción	1.37	0.73
% de Humedad	4.49	0.38
Peso Específico - Cemento gr/cm <sup>3</sup>		3.1
Peso Específico - Agua Kg/m <sup>3</sup>		1000
F'c		280
Peso específico del tecnopor		20
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Resistencia requerida promedio:	F'cr	280
SLUMP	Δ	3"
Tamaño Máximo	TM	3/4"
Contenido de Aire	Vol	0.02
Contenido de Agua	Litros	204
	Vol	0.204
Relación Agua Cemento	A/C	0.578
Cantidad de Cemento	Kg	353
	Vol	0.11
Agregado Grueso	Kg	771.63
	Vol	0.29
Tecnopor	Kg	1.464
	Vol	0.08
Agregado Fino	Kg	801.32
	Vol	0.30

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 27***Datos de diseño de concreto experimental con 20% de sustitución*

<b>DATOS DE DISEÑO</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Cemento	Kg	353
Agregado Fino	Kg	801.32
Agregado Grueso	Kg	771.63
Tecnopor	Kg	1.464
Agua	Litros	204

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 28***Correcciones de diseño del concreto experimental con 20% de sustitución*

<b>CORRECIÓN POR HUMEDAD</b>		
Agregado Fino	Kg	837.29
Agregado Grueso	Kg	771.63
<b>HUMEDAD SUPERFICIAL</b>		
Agregado Fino	Litros	3.12
Agregado Grueso	Litros	-0.28
<b>APORTE DE AGUA A LA MEZCLA 20% SUST.</b>		
Agregado Fino	Litros	25.00
Agregado Grueso	Litros	-2.66
Aporte de Agua	Litros	22.34
Cantidad de Agua Efectiva	Litros	181.66

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 29**

*Diseño de mezcla para el concreto experimental con 30% de sustitución*

DATOS	AGREGADO	
	Fino	Grueso
Peso Unitario Suelto Kg/m <sup>3</sup>	1509	1462
Peso Unitario Compactado Kg/m <sup>3</sup>	1680	1531
Peso Específico Kg/m <sup>3</sup> (seca)	2706	2635
Peso Específico Kg/m <sup>3</sup> (saturada)	2646	2604
Módulo de Fineza	2.7	
Tamaño máximo		3/4"
% de Absorción	1.37	0.73
% de Humedad	4.49	0.38
Peso Específico - Cemento gr/cm <sup>3</sup>		3.1
Peso Específico - Agua Kg/m <sup>3</sup>		1000
F'c		280
Peso específico del tecnopor		20
	DESCRIPCIÓN	
Resistencia requerida promedio:	F'cr	280
SLUMP	Δ	3"
Tamaño Máximo	TM	3/4"
Contenido de Aire	Vol	0.02
Contenido de Agua	Litros	204
	Vol	0.204
Relación Agua Cemento	A/C	0.578
Cantidad de Cemento	Kg	353
	Vol	0.11
Agregado Grueso	Kg	675.18
	Vol	0.26
Tecnopor	Kg	2.196
	Vol	0.11
Agregado Fino	Kg	801.32
	Vol	0.30

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 30***Datos de diseño de concreto experimental con 30% de sustitución*

<b>DATOS DE DISEÑO</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Cemento	Kg	353
Agregado Fino	Kg	801.32
Agregado Grueso	Kg	675.18
Tecnopor	Kg	2.196
Agua	Litros	204

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 31***Correcciones de diseño del concreto experimental con 30% de sustitución*

<b>CORRECCIÓN POR HUMEDAD</b>		
Agregado Fino	Kg	837.29
Agregado Grueso	Kg	675.18
<b>HUMEDAD SUPERFICIAL</b>		
Agregado Fino	Litros	3.12
Agregado Grueso	Litros	-0.24
<b>APORTE DE AGUA A LA MEZCLA 30% SUST.</b>		
Agregado Fino	Litros	25.00
Agregado Grueso	Litros	-2.32
Aporte de Agua	Litros	22.67
Cantidad de Agua Efectiva	Litros	181.33

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 32***Proporcionamiento de diseño*

<b>PROPORCIONAMIENTO DEL DISEÑO</b>						
Descripción	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	Total	Unidad
Factor	353	837.29	968.25	182.32	2340.80	Kg/m3
1/353	1	2.37	2.74	0.52	6.63	Proporción
42.5	<b>42.5</b>	100.82	116.59	21.95	281.87	kg
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Volumen</b>				
		<b>Parcial - m3</b>	<b>Total - m3</b>			
Probetas	9	0.0053	0.0477			
Probetas + 15% Desperdicio			0.0549			

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz

**Tabla 33***Cantidad de materiales de diseño para el concreto patrón y experimentales*

<b>Cálculo de la cantidad de Materiales para las Probetas (Patrón)</b>						
Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso		Agua		
Kg	Kg	Kg		Litro		
19.37	45.94	53.13		10.00		
<b>Calculo de la cantidad de Materiales para las Probetas (Sustituido al 10%)</b>						
Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agregado Grueso Sust.	Agregado Grueso Sust.	Tecnopor	Agua
Kg	Kg	Kg	kg	m3	Gr	Litro
19.37	45.94	47.81	5.31	0.00204	40.80	9.99
<b>Calculo de la cantidad de Materiales para las Probetas (Sustituido al 20%)</b>						
Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agregado Grueso Sust.	Agregado Grueso Sust.	Tecnopor	Agua
Kg	Kg	Kg	kg	m3	gr	Litro
19.37	45.94	42.50	10.63	0.00408	81.61	9.97
<b>Calculo de la cantidad de Materiales para las Probetas (Sustituido al 30%)</b>						
Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agregado Grueso Sust.	Agregado Grueso Sust.	Tecnopor	Agua
Kg	Kg	Kg	kg	m3	gr	Litro
19.37	45.94	37.19	15.94	0.00612	122.41	9.95

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz



**Tabla 34***Resistencias de los especímenes de concreto patrón  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$* 

Testigo		fecha	edad	fc	fc/f'c	promedio	
n°	elemento	moldeo	rotura	dias	kg/cm2	(%)	
1	CP	12/02/2019	19/02/2019	7	224.36	80.13	
2	CP	12/02/2019	19/02/2019	7	226.22	80.79	225.27
3	CP	12/02/2019	19/02/2019	7	225.23	80.44	
4	CP	12/02/2019	26/02/2019	14	269.58	96.28	
5	CP	12/02/2019	26/02/2019	14	269.25	96.16	268.85
6	CP	12/02/2019	26/02/2019	14	267.71	95.61	
7	CP	12/02/2019	12/03/2019	28	294.53	105.19	
8	CP	12/02/2019	12/03/2019	28	294.96	105.34	294.44
9	CP	12/02/2019	12/03/2019	28	293.82	104.94	

Fuente: Elaboración Propia con los datos obtenidos del laboratorio de la USP – Huaraz.

En la tabla n° 24, observamos las resistencias obtenidas por los especímenes del concreto patrón: a los 07 días el concreto patrón tiene una resistencia a la compresión que esta sobre los  $224.36 \text{ kg/cm}^2$ , que representa al 80.13% de la resistencia proyectada; a los 14 días el concreto patrón tiene una resistencia a la compresión que esta sobre los  $267.71 \text{ kg/cm}^2$ , que representa al 95.61% de la resistencia proyectada; mientras que a los 28 días el concreto patrón tiene una resistencia a la compresión que esta sobre los  $293.82 \text{ kg/cm}^2$ , que representa al 104.94% de la resistencia proyectada.

**Tabla 35**

*Resistencias de los especímenes de concreto experimental  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> con la sustitución del agregado grueso en un 10% por tecnopor*

Testigo		fecha		edad	fc	fc/f'c	promedio
n°	elemento	Moldeo	rotura	días	kg/cm2	(%)	
1	C10%	12/02/2019	19/02/2019	7	224.36	80.13	
2	C10%	12/02/2019	19/02/2019	7	222.08	79.31	222.31
3	C10%	12/02/2019	19/02/2019	7	220.50	78.75	
4	C10%	12/02/2019	26/02/2019	14	266.30	95.11	
5	C10%	12/02/2019	26/02/2019	14	266.57	95.20	266.23
6	C10%	12/02/2019	26/02/2019	14	265.81	94.93	
7	C10%	12/02/2019	12/03/2019	28	287.08	102.53	
8	C10%	12/02/2019	12/03/2019	28	293.50	104.82	290.45
9	C10%	12/02/2019	12/03/2019	28	290.77	103.85	

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla n° 25, se observa las resistencias obtenidas por el concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 10% por tecnopor, a los 07, 14 y 28 días respectivamente; a los 07 días el concreto experimental tiene una resistencia a la compresión que esta sobre 220.50 kg/cm<sup>2</sup>, que representa al 78.75% de la resistencia proyectada; a los 14 días el concreto experimental tiene una resistencia a la compresión que esta sobre 265.81 kg/cm<sup>2</sup>, que representa al 94.93% de la resistencia proyectada; mientras que a los 28 días el concreto experimental tiene una resistencia a la compresión que esta sobre 290.77 kg/cm<sup>2</sup>, que representa al 103.85% de la resistencia proyectada.

**Tabla 36**

*Resistencias de los especímenes de concreto experimental  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  con la sustitución del agregado grueso en un 20% por tecnopor*

Testigo		Fecha		edad	fc	fc/f'c	promedio
n°	elemento	moldeo	Rotura	días	kg/cm2	(%)	
1	C 20%	12/02/2019	19/02/2019	7	215.12	76.83	
2	C 20%	12/02/2019	19/02/2019	7	220.28	78.67	217.60
3	C 20%	12/02/2019	19/02/2019	7	217.39	77.64	
4	C 20%	12/02/2019	26/02/2019	14	262.82	93.86	
5	C 20%	12/02/2019	26/02/2019	14	252.88	90.31	255.35
6	C 20%	12/02/2019	26/02/2019	14	250.36	89.41	
7	C 20%	12/02/2019	12/03/2019	28	279.95	99.98	
8	C 20%	12/02/2019	12/03/2019	28	282.66	100.95	281.10
9	C 20%	12/02/2019	12/03/2019	28	280.69	100.25	

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla n° 26, se observa las resistencias obtenidas por el concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 20% por tecnopor, a los 07, 14 y 28 días respectivamente; a los 07 días el concreto experimental tiene una resistencia a la compresión que esta sobre  $215.12 \text{ kg/cm}^2$ , que representa al 76.83% de la resistencia proyectada; a los 14 días el concreto experimental tiene una resistencia a la compresión que esta sobre  $250.36 \text{ kg/cm}^2$ , que representa al 89.41% de la resistencia proyectada; mientras que a los 28 días el concreto experimental tiene una resistencia a la compresión que esta sobre  $279.95 \text{ kg/cm}^2$ , que representa al 99.98% de la resistencia proyectada.

**Tabla 37**

*Resistencias de los especímenes de concreto experimental  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  con la sustitución del agregado grueso en un 30% por tecnopor*

n°	Testigo	Fecha		edad	fc	fc/f'c	promedio
	elemento	moldeo	rotura	días	kg/cm2	(%)	
1	C 30%	12/02/2019	19/02/2019	7	194.25	69.37	
2	C 30%	12/02/2019	19/02/2019	7	191.73	68.47	193.33
3	C 30%	12/02/2019	19/02/2019	7	194.01	69.29	
4	C 30%	12/02/2019	26/02/2019	14	231.00	82.50	
5	C 30%	12/02/2019	26/02/2019	14	230.18	82.21	232.09
6	C 30%	12/02/2019	26/02/2019	14	235.09	83.96	
7	C 30%	12/02/2019	12/03/2019	28	271.25	96.87	
8	C 30%	12/02/2019	12/03/2019	28	270.21	96.50	269.54
9	C 30%	12/02/2019	12/03/2019	28	267.17	95.42	

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla n° 27, se observa las resistencias obtenidas por el concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 30% por tecnopor, a los 07, 14 y 28 días respectivamente; a los 07 días el concreto experimental tiene una resistencia a la compresión que esta sobre  $191.73.45 \text{ kg/cm}^2$ , que representa al 68.47% de la resistencia proyectada, mientras que a los 14 días tiene una resistencia que esta sobre  $230.18 \text{ kg/cm}^2$ , que representa al 83.96% de la resistencia proyectada, finalmente a los 28 días tiene una resistencia que esta sobre los  $267.17 \text{ kg/cm}^2$ , que representa al 95.42% de la resistencia proyectada.

**Tabla 38**

*Resistencias promedio de los especímenes de concreto patrón y experimental  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> con la sustitución del 10%, 20% y 30% del agregado grueso por tecnopor*

Edad en días	Concreto			
	Patrón	Sustitución del 10% del agregado grueso	Sustitución del 20% del agregado grueso	Sustitución del 30% del agregado grueso
07	225.27	222.31	217.60	193.33
14	268.85	266.23	255.35	232.09
28	294.44	290.45	281.10	269.54

Fuente: Elaboración Propia.

Los especímenes del concreto patrón en promedio a los 07 días tiene una resistencia a la compresión de 225.27 Kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días tiene una resistencia promedio de 268.85 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que a los 28 días llega a tener una resistencia promedio de 294.44 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los especímenes del concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 10% por tecnopor; a los 07 días tiene una resistencia a la compresión promedio de 222.31 Kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días tiene una resistencia promedio de 266.23 Kg/cm<sup>2</sup>; mientras que a los 28 días llega a tener una resistencia promedio de 290.45 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los especímenes del concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 20% por tecnopor; a los 07 días tiene una resistencia promedio a la compresión de 217.60 Kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días tiene una resistencia promedio de 255.35 Kg/cm<sup>2</sup>; mientras que a los 28 días llega a tener una resistencia promedio de 281.10 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los especímenes del concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 30% por tecnopor; a los 07 días tiene una resistencia promedio a la compresión de 193.33 Kg/cm<sup>2</sup>, a los 14 días tiene una resistencia promedio de 232.09 Kg/cm<sup>2</sup>; mientras que a los 28 días llega a tener una resistencia promedio de 269.54 Kg/cm<sup>2</sup>.

Estos resultados indican que el concreto patrón es la que mejor comportamiento tiene en comparación con los concretos experimentales con la sustitución del agregado grueso en un 10%, 20% y 30% por tecnopor, asimismo las resistencias de los concretos experimentales se inversamente proporcional a la sustitución.

**Tabla 39**

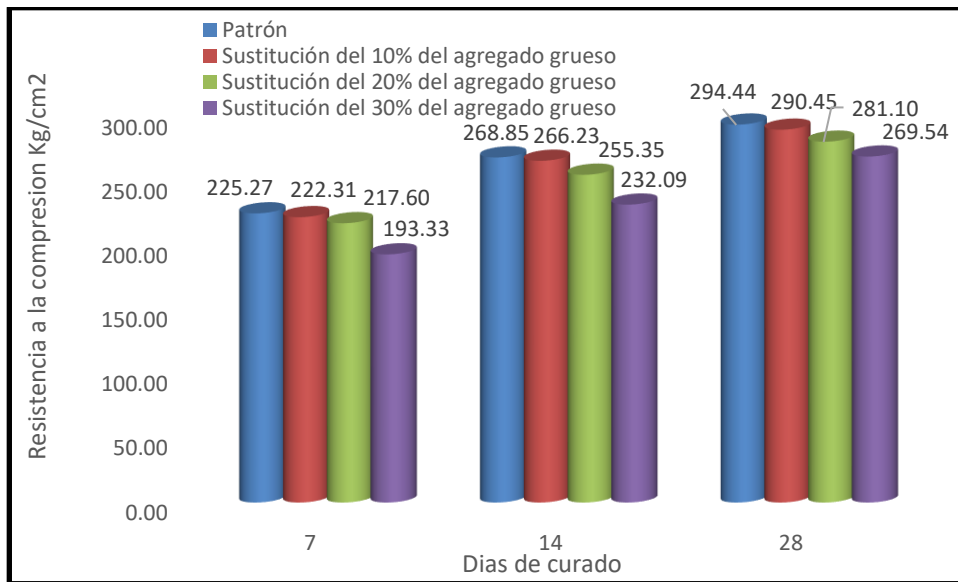
*Resistencias promedio de los especímenes de concreto patrón y experimental  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  con la sustitución del 10%, 20% y 30% del agregado grueso por tecnopor, expresado en porcentajes*

Edad en días	Concreto			
	Patrón	Sustitución del 10% del agregado grueso	Sustitución del 20% del agregado grueso	Sustitución del 30% del agregado grueso
07	80.45%	79.40%	77.71%	69.05%
14	96.02%	95.08%	91.20%	82.89%
28	105.16%	103.73%	100.39%	96.27%

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla observamos, las resistencias del concreto patrón y experimentales, expresados en porcentajes en los cuales se puede observar que el concreto patrón tiene mayor resistencia en los distintos días de evaluación.

El concreto patrón y los concretos experimentales con la sustitución del agregado grueso en un 10% y 20% por tecnopor cumplen con la resistencia proyectada; mientras que la resistencia del concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 30% por tecnopor no cumple con la resistencia proyectada.



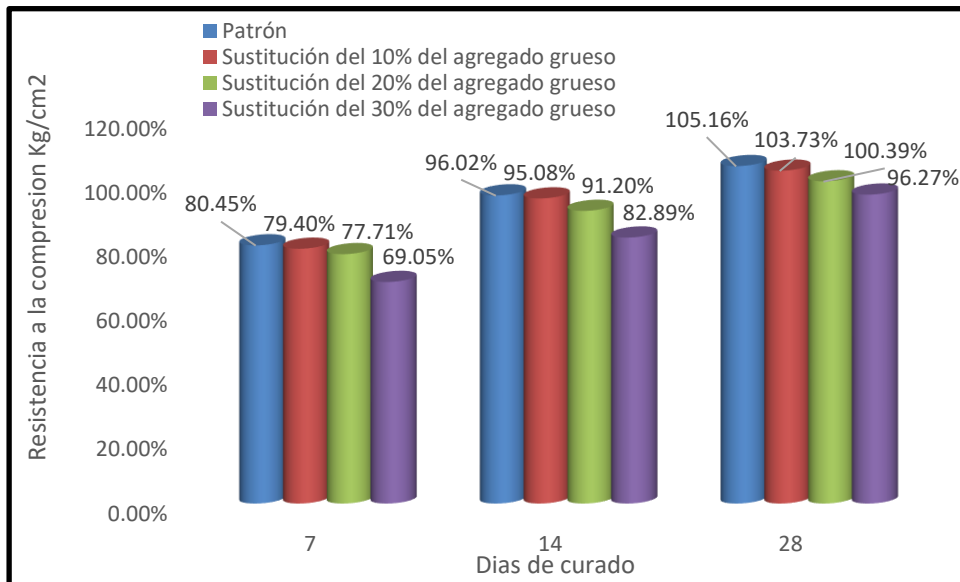
Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 4**

*Evolución de las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales*

En la figura, se aprecia las resistencias obtenidas por el concreto patrón y los concretos experimentales a los 07, 14 y 28 días.

En los días, que se han puesto a prueba las resistencias el concreto patrón obtiene mayores resistencias que los concretos experimentales.



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 5**

*Evolución de las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales, expresado en porcentajes respecto a la resistencia de diseño.*

En la presente figura, se aprecian las resistencias obtenidas por el concreto patrón y experimentales a los 07, 14 y 28 días.

Al observar el bloque de las resistencias a la compresión de los especímenes a los 28 días, tanto el concreto patrón como la experimental con la sustitución del agregado grueso en un 10% y 20% por tecnopor cumplen con la resistencia proyectada; mientras que el concreto con la sustitución del agregado grueso en un 30% por tecnopor llega a un 96.27%.



**Tabla 40**

*Análisis de varianza para determinar las diferencias de las resistencias de los concretos patrón y experimentales  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>.*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Días de curado	9700.93	2	4850.47	383.50	0.000	5.14
Sustitución	1767.99	3	589.33	46.60	0.000	4.76
Error	75.89	6	12.65			
Total	11544.81	11				

Fuente: Elaboración Propia.

Al observar los valores de la Probabilidad iguales a 0.000 podemos concluir con un nivel de 5% de significancia que las resistencias medidas en kg/cm<sup>2</sup> logradas por los especímenes de concreto patrón y los concretos experimentales con la sustitución del 10%, 20% y 30% del agregado grueso por tecnopor son diferentes. Así mismo al comparar los valores de la Fcalculada y Fcrítico, tal como se puede ver en la presente Tabla ( $383.50 > 5.14$  y  $46.60 > 4.76$ ), indican que existen diferencias significativas entre las resistencias a la compresión del concreto patrón y las experimentales teniendo en cuenta la consecuencia de los días de curado y también a raíz de las sustitución del agregado grueso por tecnopor.

**Tabla 41**

*Densidad del concreto patrón.*

N°	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO				
			01	02	03		
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	13.14	13.15	13.18		
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0		
3	Peso de la muestra	kg	13.14	13.15	13.18	19/02/2019	07 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053		
5	Peso volumétrico	kg	2478.57	2480.46	2486.12		
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2481.72</b>				

N°	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO				
			01	02	03		
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	13.11	13.14	13.16		
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0		
3	Peso de la muestra	kg	13.11	13.14	13.16	26/02/2019	14 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053		
5	Peso volumétrico	kg	2472.91	2478.57	2482.35		
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2477.94</b>				

N°	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO				
			01	02	03		
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	13.13	13.11	13.14		
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0		
3	Peso de la muestra	kg	13.13	13.11	13.14	12/03/2019	28 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053		
5	Peso volumétrico	kg	2476.69	2472.91	2478.57		
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2476.06</b>				

**Tabla 42**

*Densidad del concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 10% por tecnopor.*

N°	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO			
			01	02	03	
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	12.62	12.61	12.64	
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0	
3	Peso de la muestra	kg	12.62	12.61	12.64	19/02/2019 07 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053	
5	Peso volumétrico	kg	2380.49	2378.60	2384.26	
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2381.12</b>			

N°	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO			
			01	02	03	
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	12.65	12.66	12.70	
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0	
3	Peso de la muestra	kg	12.65	12.66	12.70	26/02/2019 14 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053	
5	Peso volumétrico	kg	2386.15	2388.03	2395.58	
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2389.92</b>			

N°	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO			
			01	02	03	
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	12.64	12.64	12.66	
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0	
3	Peso de la muestra	kg	12.64	12.64	12.66	12/03/2019 28 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053	
5	Peso volumétrico	kg	2384.26	2384.26	2388.03	
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2385.52</b>			

**Tabla 43**

*Densidad del concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 20% por tecnopor.*

Nº	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO			
			01	02	03	
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	12.20	12.21	12.24	
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0	
3	Peso de la muestra	kg	12.20	12.21	12.24	19/02/2019 07 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053	
5	Peso volumétrico	kg	2301.26	2303.15	2308.81	
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2304.41</b>			

Nº	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO			
			01	02	03	
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	12.10	12.12	12.15	
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0	
3	Peso de la muestra	kg	12.10	12.12	12.15	26/02/2019 14 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053	
5	Peso volumétrico	kg	2282.40	2286.17	2291.83	
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2286.80</b>			

Nº	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO			
			01	02	03	
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	12.11	12.13	12.13	
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0	
3	Peso de la muestra	kg	12.11	12.13	12.13	12/03/2019 28 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053	
5	Peso volumétrico	kg	2284.29	2288.06	2288.06	
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2286.80</b>			

**Tabla 44**

*Densidad del concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 30% por tecnopor.*

N°	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO			
			01	02	03	
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	12.20	12.21	12.24	
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0	
3	Peso de la muestra	kg	12.20	12.21	12.24	19/02/2019 07 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053	
5	Peso volumétrico	kg	2301.26	2303.15	2308.81	
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2304.41</b>			

N°	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO			
			01	02	03	
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	12.10	12.12	12.15	
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0	
3	Peso de la muestra	kg	12.10	12.12	12.15	26/02/2019 14 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053	
5	Peso volumétrico	kg	2282.40	2286.17	2291.83	
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2286.80</b>			

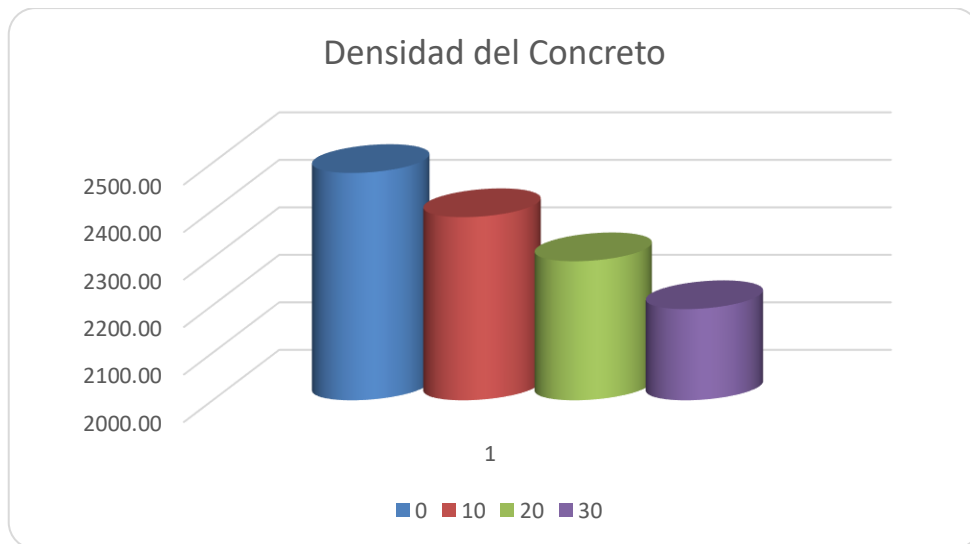
N°	ELEMENTO	UNIDAD	TESTIGO			
			01	02	03	
1	Peso de la muestra + recipiente	kg	12.11	12.13	12.13	
2	Peso del recipiente	kg	0	0	0	
3	Peso de la muestra	kg	12.11	12.13	12.13	12/03/2019 28 días
4	Volumen de muestra	kg	0.0053	0.0053	0.0053	
5	Peso volumétrico	kg	2284.29	2288.06	2288.06	
Fuente: Elaboración Propia.			<b>2286.80</b>			

**Tabla 45**

*Densidad promedio de los especímenes de concreto patrón y experimental con la sustitución del 10%, 20% y 30% del agregado grueso por tecnopor*

Edad en días	Concreto			
	Patrón	Sustitución del 10% del agregado grueso	Sustitución del 20% del agregado grueso	Sustitución del 30% del agregado grueso
07	2481.72	2381.12	2304.41	2196.89
14	2477.94	2389.92	2286.80	2188.09
28	2476.06	2385.52	2286.80	2190.60
PROMEDIO	2478.57	2385.52	2292.67	2191.86

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 6**

*Densidad del concreto patrón y experimentales con la sustitución del agregado grueso por tecnopor*

En la presente figura, se observa que la densidad del concreto es inversamente proporcional al porcentaje de sustitución del agregado grueso por tecnopor.

#### IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En relación a los resultados y a los antecedentes, tenemos lo siguiente:

Según muestran las tablas del 20 al 31, se logró elaborar un diseño de mezcla con porcentajes del 0%, 10%, 20% y 30% de sustitución del agregado grueso por tecnopor, para una resistencia de 280kg/cm<sup>2</sup>, en ella se puede establecer que debido a la naturaleza del tecnopor por ser un material hidrófugo, la cantidad de agua para la mezcla va bajando proporcionalmente al aumento de la sustitución por el agregado grueso, es decir, mientras existe mayor cantidad de sustitución del agregado grueso, la mezcla necesita menor cantidad de agua. Sin embargo el aporte de agua a la mezcla, disminuyó en porcentajes que no exceden del 0.5% pudiendo establecerse que no existen diferencias significantes en cuanto a cantidad de agua en la mezcla, entre el concreto patrón y los concretos experimentales. Estos resultados concuerdan con Zuloaga, (2013) y Lituma y Zhunio (2015) en los cuales aplicaron a sus diseños de mezcla el mismo nivel de agua tanto para el concreto patrón como para los experimentales.

Según las tablas N° 24, 25, 26 y 27 las resistencias a la compresión que alcanzaron el concreto patrón y los concretos experimentales con la sustitución del agregado grueso por tecnopor en un 10%, 20% y 30%, a los 28 días de curación fue de 294.44 kg/cm<sup>2</sup>; 290.45 kg/cm<sup>2</sup>; 281.10 kg/cm<sup>2</sup> y 269.54 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. En el cual se evidencia que existe una disminución de resistencia a la compresión a medida que se va aumentando la cantidad de sustitución. Este comportamiento es debido a que la resistencia mecánica del agregado grueso es mayor a la del tecnopor, ya que la resistencia a la compresión de la piedra chancada oscila entre 97Mpa y 186Mpa (dependiendo del tipo de roca) y en cambio el tecnopor, en el mejor de los casos, logra una resistencia mecánica de 9Mpa. Otro factor por el cual el concreto experimental logra una menor resistencia es debido a que la piedra (agregado grueso) logra una mayor adherencia en la mezcla de concreto, característica con la cual no cuenta el tecnopor, ya que la mezcla de concreto no se adhiere al tecnopor. Sin embargo, se estos resultados demuestran que a pesar de la diferencia en las características tanto de la

pedra como del tecnopor, se logran resistencias cercanas al valor teórico, siendo el óptimo porcentaje de sustitución el del 20%, ya que si bien existen diferencia en las resistencias respecto al concreto patrón ya que los concretos experimentales lograron resistencias menores de 1.35%, 4.52% y 8.45% (para sustitución del 10, 20 y 30% respectivamente) éstos siguen estando dentro de los valores teóricos, y en el caso del concreto experimental con porcentaje de sustitución del 20%, este alcanzó una resistencia de 281.10kg/cm<sup>2</sup>. Zuluaga, (2013). Logra resultados que demuestran que para concretos elaborados con 20% de sustitución de agregado por tecnopor, las resistencias no variaron significativamente respecto al concreto patrón, estos resultados son idénticos a los encontrados en la presente investigación ya que al sustituir el agregado grueso por tecnopor en un 20% mantiene la resistencia óptima a la compresión, mientras que la sustitución del agregado grueso en un 30% se alcanza una resistencia menor a la del valor teórico. Es importante mencionar que Zuluaga, (2013) elaboró el diseño de mezcla con un concreto de resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en el presente trabajo se realizó el diseño de concreto con una resistencia a la compresión de 280kg/cm<sup>2</sup> demostrando que aunque se trabajen con resistencias superiores, se alcanzan resultados favorables.

En las tablas N° 28 y 29 y en las figuras N° 04 y 05 observamos la comparación de las resistencias a compresión obtenidas a los 07, 14 y 28 días, la resistencia del concreto patrón es superior a las resistencias de los concretos experimentales; sin embargo las resistencias de los concretos experimentales con sustitución del 10% y 20% de agregado grueso por tecnopor alcanzaron su resistencia óptima, sin ocurrir lo mismo respecto al concreto experimental con sustitución del 30% ya que este alcanzó una resistencia menor a la del valor teórico.

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron residuos de planchas de tecnopor, y se realizó la sustitución del agregado grueso por tecnopor en volumen, ya que al tener pesos específicos diferentes (agregado grueso 2635kg/m<sup>3</sup> y tecnopor 20kg/m<sup>3</sup>) no existe forma de sustituirla en pesos por no ser proporcionales en ese sentido. A razón de ello al sustituir en volumen al agregado grueso por tecnopor, se logra disminuir la densidad o peso volumétrico del concreto, logrando valores menores



en peso de 3.75%, 7.50% y 11.57% respecto al concreto patrón (para sustituciones del 10, 20 y 30% respectivamente). Esto quiere decir que, como es evidente, por tener pesos diferentes y al ser reemplazados en la misma proporción volumétrica, se logra que los concretos experimentales sean más livianos. Chiquilín, (2018) logra con un porcentaje de sustitución del 30% del agregado fino por tecnopor, una densidad de 2250kg/m<sup>3</sup> para una resistencia de 210kg/cm<sup>2</sup> resultado que se asemeja al mostrado en el presente trabajo de investigación, ya que se logra con una sustitución del agregado grueso por tecnopor del 30% una densidad de 2292.67 kg/cm<sup>3</sup> para una resistencia de 280kg/cm<sup>2</sup>. Cabe resaltar que en el presente trabajo se sustituyó el agregado grueso y no el fino y asimismo se proyectó una resistencia mayor. Demostrando que no solo se puede sustituir el agregado fino, sino también el agregado grueso.

En la tabla N° 35 y en la figura N° 06 observamos la comparación de las densidades obtenidas a los 07, 14 y 28 días, la densidad del concreto patrón es superior a las densidades de los concretos experimentales; siendo el 30% de sustitución de agregado grueso por tecnopor el de menor densidad.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

Se elaboró un diseño de mezcla para una resistencia de 280kg/cm<sup>2</sup> para un concreto patrón y para concretos experimentales (10, 20 y 30%) en el cual se planteó sustituir el agregado grueso por residuos de planchas de tecnopor en función al volumen, ya que ambos materiales (agregado grueso y tecnopor) no tienen el mismo peso específico, por tanto no pueden ser reemplazados en esa proporción.

Para el diseño de mezcla, se estableció que como el tecnopor es un material hidrófugo (que no absorbe agua) la cantidad de agua para la mezcla disminuye en función al aumento del porcentaje de sustitución del agregado grueso, aunque se evidencia que el porcentaje de agua respecto al concreto patrón no varía significativamente (solo el 0.5%). A razón de ello podría emplearse la misma cantidad de agua al realizar la mezcla de concreto.

Se alcanzaron resistencias para el concreto patrón y los concretos experimentales tanto para el 10, 20 y 30% de sustitución de 294.44kg/cm<sup>2</sup>, 290.45kg/cm<sup>2</sup>, 281.10kg/cm<sup>2</sup> y 269.54kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Se determinó que la resistencia del concreto experimental en sus diferentes porcentajes de sustitución, 10%, 20%, 30%, no eleva la resistencia a la compresión base 280 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo en los niveles de sustitución del 10% y 20% se acerca al valor teórico de diseño 280 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que la sustitución se considera factible en esos niveles. La resistencia a la compresión disminuye, en función al aumento en el porcentaje de sustitución de agregado por tecnopor.

Se alcanzaron densidades para el concreto patrón y los concretos experimentales tanto para el 10, 20 y 30% de sustitución de 2478.57kg/m<sup>3</sup>, 2385.52kg/cm<sup>2</sup>, 2292.67kg/m<sup>3</sup> y 2191.86kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

El efecto del tecnopor en la densidad del concreto es inversamente proporcional al porcentaje de sustitución de agregado grueso, permitiendo que el óptimo nivel de sustitución sea el de 30%, 2149 kg/m<sup>3</sup> para un concreto  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, considerando la resistencia a la compresión y la densidad el óptimo nivel de sustitución es de 20%, concreto con cualidades de resistencia y baja densidad.

Se determinó la influencia del tecnopor para concretos liviano estructural en porcentajes de 0%, 10%, 20% y 30%, reemplazando en volumen el agregado grueso. Donde se comprueba que a mayor porcentaje de sustitución, la resistencia y densidad disminuyen.

Se consideran las siguientes recomendaciones:

Entre los porcentajes utilizados, se recomienda utilizar el concreto con 20% de tecnopor, ya que en ese porcentaje se obtuvo un peso volumétrico por debajo del concreto convencional y mantiene una resistencia óptima.

Realizar trabajos de investigación en el cual se utilicen las perlas de tecnopor junto con los residuos de planchas de tecnopor para ser sustituidos por los agregados tanto grueso y fino simultáneamente.

Investigar en mayores niveles de sustitución, considerando concretos no estructurales y de menor resistencia a la compresión.

Evaluar elementos de relativa baja densidad que complementen al tecnopor en la sustitución de agregados para su uso en el concreto.

Realizar estudios más profundos de sustitución de agregados por materiales alternativos y su influencia en el concreto, a fin de establecer parámetros de uso en obras de gran envergadura en la ciudad de Huaraz.

Realizar ensayos donde se determinen las ventajas del tecnopor en el concreto, tales como su capacidad de aislante térmico y resistencia al fuego.

Utilizar residuos de tecnopor provenientes de construcciones o de uso reciclables (tapers, vasos, platos, etc.) ya con ello se podría disminuir el impacto ambiental negativo que genera el uso de dicho material.

## **VI. AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios por iluminar mi camino y conducirme con fortaleza y buenaventura hasta la culminación de mi carrera profesional.

Agradecer a Jessy por el amor, la paciencia y por ser quien me motivó a seguir adelante a pesar de las dificultades. Por ser una de las razones, pero sin duda la más importante por la cual culminé con éxito mi carrera profesional.

Agradecer a mis padres quienes con amor y dedicación me dieron todo lo que estuvo a su alcance para que mi persona sea profesional.

A todas las personas que me ayudaron en el desarrollo y culminación de esta investigación y de una manera muy especial a mi asesor el Ing. Solar Jara Miguel.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, C. (2009). *Tecnología del concreto*. Lima, Perú: San Marcos.
- Albán, C., Vásquez, Z. y Cortés, M. (1998). *Hormigón Alivianado: Con residuos de madera y aplicaciones de elementos no estructurales*. Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5881>
- Andrade, M. (2014). *Sistema constructivo modular con materiales alternativos que favorezca a la flexibilidad en la construcción de viviendas*. Universidad Autónoma del Estado de México, México. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/79937>
- Céspedes, M. (2003). *Resistencia a la Compresión del Concreto A partir de la Velocidad de Pulsos de Ultrasonido*. Universidad de Piura, Piura, Perú. Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1338>
- Chen, K. & Liu, Ch. (2004). *Positive brand extension trial and choice of parent brand*. University of Technology, Taiwan. Recuperado de <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/10610420410523821>
- Chiquilin, J. (2018). *Influencia del porcentaje de perlas de poliestireno sobre peso unitario, resistencia a compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas*. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14821>
- Díaz, M. (2010). *Correlación entre la porosidad y la resistencia del concreto*. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/103>
- González, E. (2016). *Estudio de factibilidad del uso de perlas de poliestireno expandido como sustituto del aliven para la fabricación de bloques de concreto usados en la construcción de losas de techos y paredes*. Instituto Universitario de Tecnología Antonio José de Sucre, Venezuela.
- Klempner, D. y Frisch, K. (1994). *Advances in interpenetration polymer networks*, USA. Recuperado de <https://www.crcpress.com/Advances-in->

*Interpenetrating-Polymer-Networks-Volume-III/Frisch-Klempner/p/book/9780877627258*

- Leon, J. (2013). Diseño, fabricación y ensayo de una losa unidireccional de hormigón liviano con poliestireno expandido reciclado modificado para fines habitacionales. Universidad Austral de Chile, Chile. Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfci1579d/doc/bmfci1579d.pdf>*
- Lituma, M. y Zhunio, B. (2015). Influencia de las perlas de poliestireno expandido (EPS) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón. Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23112>*
- Mather, R. & Ozyildirim, H. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto, México. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/189238711/Libro-Diseno-y-control-de-mezclas-de-concreto-PCA-1>*
- Miled, K., Sab, K. & Le Roy, R. (2005). EPS Lightweight concrete particle size effect modelling. División Bétons et Composites Cimentaires France.*
- Negussey, D. (1998). Proceeding of the seventh International Symposium on Landslides, USA. Recuperado de <https://www.abebooks.com/Landslides-volume-Proceedings-7th-international-symposium/2693968779/bd>.*
- Neville, A. (1999). Tecnología del Concreto: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México: Trillas.*
- NTP 334.051. (2013). Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado. Recuperado de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/ensayos/2-cemento/2.04.pdf>*
- NTP 334.057. (2002). Determinación de la fluidez de pastas de mortero. Recuperado de: <https://documents.tips/documents/ntp-334057-2002.html>*
- NTP 339.088. (2004). Requisitos de calidad del agua para el concreto. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/kiaramirellaporrascrisostomo/ntp-339088>*
- NTP 399.607. (2013). Especificación normalizada de agregados para mortero de albañilería.*

- Osorio, J. (26 de diciembre de 2018). *Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión.*
- Ossa, E. (2004). *Deformation behaviour of bitumen and bituminous mixes.* University of Cambridge, UK
- Ranjbar, M., Rahmand, M. & Mousavi, S. (2011). *An Investigation on the fresh properties of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene.* *Construction and Building Materials*, 25 (9).
- Rivera, G (2011). *Concreto Simple, Colombia: Universidad del cauca.*  
 Recuperado de [https://www.google.com/search?ei=vmLkXMb6JsDX5OUP1te18AI&q=Concreto+Simple%2C+Colombia%3A+Universidad+del+cauca.&oq=Concreto+Simple%2C+Colombia%3A+Universidad+del+cauca.&gs\\_l=psy-ab.3...2604.3851..4897...0.0..0.220.352.0j1j1.....0....1j2..gws-wiz.....0..0i71j0i131j0.\\_F96leQthJI](https://www.google.com/search?ei=vmLkXMb6JsDX5OUP1te18AI&q=Concreto+Simple%2C+Colombia%3A+Universidad+del+cauca.&oq=Concreto+Simple%2C+Colombia%3A+Universidad+del+cauca.&gs_l=psy-ab.3...2604.3851..4897...0.0..0.220.352.0j1j1.....0....1j2..gws-wiz.....0..0i71j0i131j0._F96leQthJI)
- Rivva, E. (2007). *Diseño de Mezclas.* Perú: Editorial Hozlo S.C.R.L.
- Rodríguez, A. (2016). *Hormigones Livianos o Ligeros.* Universidad la República, Uruguay.
- Rodriguez, H. (2017). *Concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no experimental – Cajamarca, Perú.* Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/999>
- Serrano, T. (2010). *El control de calidad en los agregados para concreto 3a parte: Construcción y tecnología, México.*
- Trussoni, M., Hays, C. & Zollo, R. (2012). *Comparing lightweight polystyrene concrete using engineered or waste materials.* *ACI Materials Journal*, 109(1), 101-107. Recuperado de <https://miami.pure.elsevier.com/en/publications/comparing-lightweight-polystyrene-concrete-using-engineered-or-wa>
- Valdez, L., Suarez, G. (2010). *Hormigones Livianos.* Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. Recuperado de



<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10056/1/Hormigones%20Liviamos.pdf>

Vélez, A. (2013). *Hormigones con escoria de acero de horno eléctrico: Prestaciones mecánicas, físicas y químicas*. Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4389>

Wainsztein, M. y Cano, W. (s.f). *Hormigones livianos estructurales: Características tecnológicas de hormigones confeccionados con morteros tradicionales y áridos granular liviano*, Mexico. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/153562954.pdf>

Zuluaga, F. (2013). *Evaluación del comportamiento del concreto elaborado con desechos de icopor*. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/56/1/Zuluaga%20Molina%20C%20Francisco%20Javier-2013.pdf>

## VIII. ANEXOS Y APÉNDICES

### Panel fotográfico



Fotografías N° 01 y 02: Recolección de los agregados.



Fotografía N° 03: Muestras para determinación del contenido de humedad de los agregados.



Fotografía N° 04: Llevando las muestras al horno para la determinación del contenido de humedad de los agregados.



Fotografía N° 05: Preparación del agregado grueso para la determinación de la absorción y peso específico.





Fotografías N° 06 y 07: Procedimiento para la determinación de la absorción y peso específico del agregado grueso.



Fotografías N° 08: Procedimiento con el Pictómetro para la determinación la absorción y peso específico del agregado fino.



Fotografía N° 09: Análisis granulométrico de los agregados.



Fotografía N° 10: Procedimiento para preparación de probetas de concreto  $f'c=280\text{kg/cm}^2$ .



Fotografía N° 11: Procedimiento para determinación del SLUMP.



Fotografía N° 12: Aplicación del tecnopor en la mezcla de concreto.



Fotografía N° 13: Desencofrado de probetas para curación del concreto.



Fotografía N° 14: Curación de probetas de concreto.



Fotografía N° 15: Secado al aire de probetas de concreto para ensayo de resistencia a los 07 días.



Fotografía N° 16: Pesado de probetas de concreto para determinación de “peso volumétrico” o densidad del concreto.



Fotografías N° 17 y 18: Ensayo de resistencia a la compresión para probetas de 07 días de edad.





Fotografía N° 19: Secado al aire de probetas de concreto para ensayo de resistencia a los 14 días.



Fotografía N° 20: Ensayo de resistencia a la compresión para probetas de 14 días de edad.



Fotografía N° 21: Secado al aire de probetas de concreto para ensayo de resistencia a los 28 días.



Fotografía N° 22: Pesado de probetas de concreto para determinación de “peso volumétrico” o densidad del concreto a los 28 días.



Fotografías N° 23 y 24: Ensayo de resistencia a la compresión para probetas de 28 días de edad.



Fotografías N° 25 y 26: Ensayo de resistencia a la compresión para probetas de 28 días de edad.