

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO  
COMO ADITIVO PARA ALIGERAR EL PESO DE LAS PROBETAS Y MEJORAR  
SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

**CHRISTIAN CAMILO TREJOS VALENCIA**

**DANIELA SUAREZ ARISTIZABAL**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PEREIRA, RISARALDA**

**2019**

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO  
COMO ADITIVO PARA ALIGERAR EL PESO DE LAS PROBETAS Y MEJORAR  
SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

**CHRISTIAN CAMILO TREJOS VALENCIA**

**DANIELA SUAREZ ARISTIZABAL**

**ASESOR:**

**ADAN SILVESTRE GUTIERREZ**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PEREIRA, RISARALDA**

**2019**

## TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción .....	11
2. Planteamiento del problema y pregunta de investigación.....	12
2.1. Planteamiento del problema.....	12
2.2. Pregunta de investigación.....	13
3. Justificación.....	14
4. Objetivos de investigación .....	17
4.1. Objetivo General.....	17
4.2. Objetivos Específicos .....	17
5. Marco referencial .....	18
5.1. Marco teórico.....	18
5.1.1. Innovación y aplicabilidad de materiales de fabricación.....	18
5.1.2. Uso del concreto con poliestireno expandido.....	18
5.1.3. Diferentes procesos de mezcla del poliestireno.....	19
5.1.4. Características del poliestireno expandido .....	20
5.1.5. El Concreto.....	21
5.1.6. Determinación de la resistencia del concreto .....	22
5.1.7. Parámetros de resistencia del concreto.....	23
5.2. Marco Geográfico.....	24

5.3.	Marco Legal.....	24
6.	Diseño Metodológico .....	26
6.1.	Tipo de investigación.....	26
6.2.	Fuentes de recolección de información.....	27
6.3.	Diseño experimental .....	27
6.4.	Matriz de diseño metodológico.....	28
6.5.	Fases y resultados de la investigación .....	29
7.	Desarrollo del proyecto .....	31
7.1.	Caracterización de los agregados.....	31
<p>Los parámetros requeridos en la normas INVIAS y NTC, las cuales están sujetas a cumplir los agregados para la elaboración de mezclas de concreto son los siguientes. ..</p>		
7.1.1.	Granulometría.....	31
7.1.2.	Índice de alargamiento y aplanamiento .....	33
7.1.3.	Resistencia al desgaste. Máquina de los Ángeles.....	36
7.1.4.	Resistencia al desgaste. Sulfato de sodio o sulfato de magnesio .....	39
7.1.5.	Masas unitarias .....	40
7.1.6.	Densidad específica y porcentaje de absorción .....	40
7.2.	Dosificación .....	42
7.2.1.	Selección del asentamiento.....	44
7.2.2.	Chequeo del tamaño máximo nominal .....	44
7.2.3.	Estimación del agua de mezcla.....	44

7.2.4.	Determinación de la resistencia de dosificación.....	45
7.2.5.	Selección de la relación Agua/Cemento.....	46
7.2.6.	Contenido de Cemento .....	46
7.2.7.	Contenido de agregados.....	46
7.2.8.	Cálculo de proporciones .....	48
7.3.	Procedimiento para ensayo de compresión.....	52
7.4.	Ensayo de compresión de concreto con poliestireno extendido .....	53
8.	Análisis de resultados.....	59
9.	Conclusiones .....	78
10.	Recomendaciones .....	79
	Referencias .....	80

## Lista de figuras

Figura 1. Proceso de producción del poliestireno expandido.....	20
Figura 2. Esfuerzo deformación obtenidas en la investigación propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo .....	23
Figura 3 Granulometría agregado fino .....	32
Figura 4. Granulometría agregado grueso .....	33
Figura 5. Calibrador de alargamiento y aplanamiento .....	34
Figura 6. Máquina de los ángeles .....	37
Figura 7. Contenido de agua por m cúbico de concreto, según el asentamiento y el TMN. 45	
Figura 8. Resistencia cilindro 3% Icopor .....	53
9. Figura 9. Resistencia cilindro 5% Icopor .....	54
Figura 12. Resistencia cilindro 13% Icopor .....	57
Figura 13. Resistencia cilindro 15% Icopor .....	58
Figura 14. Rangos de probabilidad de resistencia con respecto al % de poliestireno expandido .....	60
Figura 15. Gráfico de Interacciones de los ensayos .....	61
Figura 16. Curva Contra Peso vs % de icopor a los 28 días.....	62
Figura 17. Histograma de los residuos. ....	65
Figura 18. Autocorrelaciones estimadas para residuos .....	65
Figura 19. Grafico del modelo ajustado – Doble Inverso.....	67
Figura 20. Grafico del modelo ajustado – Raíz Cuadrada-Y Inversa de X .....	69
Figura 21. Grafico del modelo ajustado – logarítmico y Raíz cuadrada X .....	71
Figura 22. Grafico del modelo ajustado – Doble inverso.....	72

Figura 23. Grafico del modelo ajustado – Raíz cuadrada de Y .....	74
Figura 24. Grafico del modelo ajustado – Doble inverso.....	75
Figura 25. Grafico del modelo ajustado – Doble inverso.....	77

## Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación del concreto según su peso unitario.....	22
Tabla 2. Matriz de diseño metodológico .....	29
Tabla 3. Fase I. Estudio bibliográfico y revisión de antecedentes .....	30
Tabla 4. Fase 2 – Pruebas de laboratorio.....	30
Tabla 5. Diagnóstico y caracterización de la probeta.....	30
Tabla 6. Calibrador de alargamiento y aplanamiento.....	35
Tabla 7. Índice de alargamiento .....	36
Tabla 8. Resultados máquina de los ángeles .....	38
Tabla 9. Porcentaje pérdida gruesos .....	39
Tabla 10. Porcentaje pérdida finos .....	39
Tabla 11. Densidad específica grava y % absorción agregados gruesos.....	41
Tabla 12. Densidad específica % absorción agregados finos.....	42
Tabla 13. Características de los agregados.....	42
Tabla 14. Características del cemento .....	43
Tabla 15. Características del agua .....	44
Tabla 16. Chequeo del tamaño máximo nominal.....	44
Tabla 17. Resistencia a la compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ ) .....	45
Tabla 18. Relación Agua/Cemento.....	46
Tabla 19. Contenido de Cemento .....	46
Tabla 20. Peso agregado grueso .....	47
Tabla 21. Cálculo de volúmenes y agregado grueso .....	47
Tabla 22. Peso agregado fino .....	48



Tabla 23. Diseño mezcla seca.....	48
Tabla 24. Proporciones en estado seco .....	49
Tabla 25. Correcciones por humedad .....	49
Tabla 26. Diseño Final del concreto.....	50
Tabla 27. Características molde cilindro .....	50
Tabla 28. Cantidad de material por cilindro .....	51
Tabla 29. Cantidades para fabricar .....	51
Tabla 30. Análisis de varianza para resistencia - Suma de cuadrados tipo III .....	59
Tabla 31. Porcentaje de decadencia a la resistencia .....	61
Tabla 32. Procedimiento de diferencia mínima significativo - determinación de grupos ....	63
Tabla 33. Procedimiento de comparación múltiple – determinación de medias significativas .....	63
Tabla 34. Prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	64
Tabla 35. Correlación métodos de regresiones 0% .....	66
Tabla 36. Correlación métodos de regresiones 3% .....	67
Tabla 37. Correlación métodos de regresiones 5% .....	69
Tabla 38. Correlación métodos de regresiones 7% .....	71
Tabla 39. Correlación métodos de regresiones 10% .....	73
Tabla 40. Correlación métodos de regresiones 13% .....	74
Tabla 41. Correlación métodos de regresiones 15% .....	76

## **Resumen**

En el siguiente documento se describe el diseño de una mezcla de concreto con proporciones variadas de poliestireno expandido (icopor) mediante ensayos de laboratorio que permitan aligerar el peso y mejorar resistencia a la compresión de las probetas de concreto. Para esta investigación cualitativa desarrollada por el método experimental, se ejecutó un trabajo de campo en el cual se desarrollaron los análisis de laboratorio y las pruebas correspondientes de la mezcla con niveles de 3%, 5%, 7%, 10%, 13% y 15% para determinar el nivel de la resistencia a la compresión de probetas y otros factores que competen con el análisis. De las cuales se obtuvo como resultado que el diseño y evaluación de resistencia en las probetas cumple con lo exigido por la norma NSR-10.

## **Palabras Claves**

Concreto, poliestireno, resistencia, NSR-10, probetas

## **Abstracts**

The following document describes the design of a concrete mixture with varying proportions of discarded polystyrene (icopor) by laboratory tests to lighten weight and improve the commodification resistance of concrete specimens. For this qualitative research developed by the experimental method, a fieldwork was executed in which laboratory analyses and corresponding analyses of the mixture were developed with levels of 3%, %, 7%, 10%, 13% and 15% to determine the level resistance to compression of specimens and other factors that compete with the analysis. Of which it was obtained as a result that the design and evaluation of resistance in the specimens complies with the requirements of the NSR-10 standard.

## **key Words**

Concrete, polystyrene, resistance, NSR-10, specimens

## **1. Introducción**

El presente proyecto consiste diseñar una mezcla de concreto con poliestireno desechado mediante ensayos de laboratorio que permitan aligerar el peso y mejorar resistencia a la compresión de las probetas de concreto, en el cual se realizan las pruebas respectivas conforme a lo que estipula la norma vigente para garantizar la calidad en las estructuras.

Para dar cumplimiento al objetivo general, se plantean como la realización de una revisión bibliográfica relacionado con el diseño de mezclas de concreto a partir de poliestireno y así mismo, describir los usos más comunes en los procesos de control de calidad del concreto y de la estructura en general. Posteriormente, se elaboran pruebas de laboratorio con proporciones de icopor de 3%, 5%, 7%, 10%, 13% y 15% en la mezcla, para determinar el nivel de la resistencia a la compresión de probetas y otros factores que competen con el análisis. Finalmente, se procede a diagnosticar, evaluar y caracterizar si el diseño de las probetas cumple con la norma NSR-10 de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

El proyecto se realiza con metodología experimental y de tipo descriptiva, en la cual se elaboran las respectivas pruebas y se describen los resultados, definiendo como factores de estudio el porcentaje de poliestireno expandido a utilizar como aditivo a la mezcla y la resistencia del concreto. Luego se procede a hacer diseños de las probetas, teniendo en cuenta lo propuesto en la Norma NSR – 10. Y finalmente, se procesa y analiza la información recopilada y se muestran los resultados obtenidos.

## **2. Planteamiento del problema y pregunta de investigación**

### **2.1.Planteamiento del problema**

En Colombia las construcciones de cualquier tipo, se referencian de acuerdo a la Norma NSR-10 (Norma Sismo Resistente), esta ha sido muy beneficiosa para mejorar las obras civiles a nivel nacional en cuanto a calidad y diseño; sin embargo, actualmente, debido a factores como el clima o el uso humano, se está presentando una problemática, que se exalta por la falta de materiales durables y los altos sobrecostos por los diagnósticos y reparaciones, lo cual no excluye a las edificaciones nuevas o antiguas, que generalmente presentan diversos estado de deterioro en sus estructuras, las cuales se deben corregir con el fin de garantizar la seguridad de los habitantes y/o usuarios depende el tipo de instalación.

El concreto es el material de mayor uso para las edificaciones de cualquier tipo, debido a sus altas capacidades en cuenta a resistencia y aplicación, sin embargo, también presenta dificultades y desventajas por algunas características particulares de sus componentes fisicoquímicos. De acuerdo con Tejada y Valencia (2017), el concreto presenta varios problemas, “Una de ellas es la densidad que alcanza y por ende su gran peso, debido a esto las estructuras que son construidas con este material llegan a tener pesos de gran importancia, causando dificultades a la hora de analizarlas estructuralmente” (p.11)

De igual manera, las edificaciones en concreto presentan mayores riesgos a daños causados por eventos sísmicos, dado el nivel de dureza y baja flexibilidad, diferente a otros materiales como aglutinados a base de cauchos y vidrio, que pueden tener menor resistencia a la compresión pero un mayor nivel de flexibilidad. Particularmente, en el departamento de Risaralda se presentan 37 fallas geológicas, las cuales cubren toda su extensión territorial. Por su parte en la ciudad de Pereira se identificaron 4 fallas activas y riesgosas:

La falla Santa Rosa, Falla San Jerónimo, Falla Río Otún y Falla Consota. (Periódico EJE 21, s.f)

Entonces, dado el alto nivel de riesgo por eventos sísmicos en la región, es importante considerar la calidad en los procesos de diseños y estructurales, puesto que un fenómeno natural de este tipo puede ocasionar serios graves, tanto de orden económico, como social y ambiental. Por este motivo surge la necesidad de producir concretos aligerados, que cumplan con los requerimientos mínimos establecidos por la norma sismo resistente NSR-10 y además con la implementación de mejoras en los métodos de construcción que ayuden a mitigar los posibles efectos que conlleva un sismo de gran magnitud por medio utilizando nuevos materiales de construcción que cumplan los requerimientos de la norma vigente de construcción sismo resistente en Colombia (NSR-10), proveyendo nuevas e innovadoras alternativas para la ingeniería del país.

## **2.2.Pregunta de investigación.**

¿Cuáles son las proporciones de poliestireno expandido (icopor) en una mezcla de concreto que permiten aligerar el peso y mejorar resistencia a la compresión de las probetas de concreto?

### **3. Justificación**

Esta investigación tiene una finalidad académica, la cual consiste en diseñar una mezcla de concreto con proporciones de poliestireno desechado (icopor) variadas que permiten aligerar el peso y mejorar resistencia a la compresión de las probetas de concreto, mediante la aplicación de pruebas para medir la resistencia a la compresión y módulo de rotura del elemento.

Este proyecto adquiere importancia dado que la finalidad de diseñar una mezcla para evaluar y controlar la calidad de la estructura, se basa en aumentar el nivel de resistencia y soporte de cargas causadas por su propio peso y su utilización, así como también resistir a las consecuencias que causan los fenómenos naturales, especialmente los sismos, los cuales se presentan con mayor frecuencia y mayor grado en esta región del país, obligando a implementar mejores prácticas de diseño estructural y el uso de materiales alternos que mejoren las propiedades mecánicas de los elementos de la estructura misma. Y además, de cumplir con la norma NSR – 10, también garanticen la seguridad integral de quienes ocupan la edificación.

Con respecto al factor económico, el proyecto es relevante dado que genera un beneficio para el sector y la comunidad en general, generando mayor nivel de competitividad y mejorando la calidad de vida en cuanto a las condiciones de habitabilidad de la población. De acuerdo con esto, Silvestre (2015), plantea que al utilizar un concreto más ligero pero con el mismo nivel de resistencia, se obtienen las siguientes ventajas:

Se reduce el costo en términos de transporte, además por ser un material más ligero, se disminuye el tiempo que deben implementar los operarios a la hora de la construcción y así

mismo disminuye los requerimientos estructurales que se deben aplicar a la edificación.

(p.9)

Desde una perspectiva social, la investigación es importante dado que el diseño e implementación de mejoras en los procesos constructivos, es el inicio de la planeación y cimentación de proyectos de viviendas tipo VIS y VIP en beneficio de la comunidad, a un costo más económico y con mejores condiciones debido al bajo costo de su construcción.

Es importante resaltar que el proyecto también tiene un alto impacto ambiental, en la medida que utilizar medios de reciclaje innovadores que permitan implementar materiales como el icopor disminuye el volumen de residuos a causa de los procesos de construcción, y así mismo permite dar uso a una cantidad de “desechos” que están degradando el medio ambiente y no generan ninguna utilidad. Cabe destacar, que en el país se presenta un problemática grande en cuanto al reciclaje del poliestireno expandido (icopor), puesto que su relación costo beneficio es insignificante con respecto a otros materiales como el cartón y el vidrio. (Peña y Moncaleano, 2016).

De igual forma, Peña y Moncaleano, 2016Junca (2014), afirma que:

Mover un camión cuesta entre \$80 y \$100 mil. Mientras que en uno de ellos se pueden movilizar unas cuatro toneladas de cartón, en el mismo camión sólo se podrían transportar 120 kilogramos de icopor. Es por esa razón, principalmente, que para los recicladores resulta poco rentable en términos de tiempo y ganancias trabajar con el icopor, por ser un material que no tiene salida comercial. (Junca, 2014)

Finalmente, el proyecto es importante para la universidad, debido a que permite un acercamiento de los estudiantes con la realidad de la ingeniería civil del país y puedan tener un mayor conocimiento de las problemáticas que surgen en la sociedad, con el fin de

enfocar sus estrategias pedagógicas en la solución pertinente y optima desde un enfoque económico, social y ambiental a dichas situaciones.



## **4. Objetivos de investigación**

### **4.1.Objetivo General**

Diseñar una mezcla de concreto con proporciones variadas de poliestireno expandido (icopor) mediante ensayos de laboratorio que permitan aligerar el peso y mejorar resistencia a la compresión de las probetas de concreto.

### **4.2.Objetivos Específicos**

1. Elaborar pruebas de laboratorio con proporciones de poliestireno expandido de 3%, 5%, 7%, 10%, 13% y 15% en la mezcla, para determinar la resistencia a la compresión de probetas, absorción de moléculas, desgaste, densidad del concreto y el peso.
2. Diagnosticar, evaluar y caracterizar si la probeta cumple con lo requerido por la norma NSR-10 de acuerdo con los resultados de las pruebas realizadas.

## **5. Marco referencial**

### **5.1. Marco teórico**

El mundo actual genera una demanda en el sector de construcción, lo que conlleva a buscar nuevas tecnologías en materiales, las cuales tienen como objetivo, mejorar sus propiedades de tiempo, trabajo, y principalmente costos. Así mismo, se busca crear una reducción de los pesos, empleando elementos prefabricados que generan el incremento en el uso de materiales con poliestireno expandido, por lo cual se obtiene una serie de ventajas tanto en los procesos constructivos y en el comportamiento futuro de la estructura.

#### **5.1.1. Innovación y aplicabilidad de materiales de fabricación.**

En la construcción moderna, se puede observar como la innovación en los materiales de fabricación se apoyan los proyectos, para generar resultados de progreso en los procesos, según (Valdivia, 2010)

Estos nuevos materiales, conocidos como aditivos reductores de agua, permitieron mejoras significativas en las propiedades de resistencia mecánica y durabilidad, como también reducción de masa específica, lo que implica una reducción considerable de cargas por peso propio, contribuyendo de forma directa a la reducción de costos. (p.18).

#### **5.1.2. Uso del concreto con poliestireno expandido.**

El enfoque de la actual arquitectura se basa en introducir un concreto con poliestireno expandido, según Peña, J y Moncaleano, L (2016). “ofrece una completa viabilidad, debido a que es un material completamente amigable al medio ambiente, gracias a su valiosa y eficiente capacidad de recolección y reutilización de materiales no biodegradables” (p.20).

Así mismo, Peña, J y Moncaleano, L (2016). Emplean que el poliestireno expandido “es un material viable ya que ofrece al sector de la construcción una gran variedad de beneficios, tales como: aislamiento térmico, aislamiento acústico, disminución de peso unitario en concretos, resistencia a la humedad, baja permeabilidad, etc.” (p.20).

### **5.1.3. Diferentes procesos de mezcla del poliestireno.**

En los diferentes procesos que utilizan materiales basados en poliestireno expandido, se debe a sus diversas propiedades, como lo explica Peña, J y Moncaleano, L (2016).

Dadas sus excelentes propiedades de capacidad de deformación, este material ha sido utilizado en la fabricación de varios elementos estructurales, tales como: paneles de revestimiento, muros no estructurales, sistemas de pisos compuestos, bloques de concreto para muros de carga, pavimentos, estructuras flotantes marinas, entre otros. (p.23).

De esta manera, es posible identificar como el uso del poliestireno expandido en la construcción, se convirtió en una herramienta común en los últimos años debido a sus propiedades, anteriormente mencionadas y sus diversas ventajas en los sectores del desarrollo social y humano. En Colombia, el poliestireno expandido se conoce como Icopor, y su sigla (EPS). Según Icoformas Ltda. (2014), “es utilizado en la construcción como protección térmica de elementos, aislante acústico, en soluciones modulares, elementos de encofrado y aligeramiento, llenado de espacios huecos, como bloques y placas para fundación de calzadas, aislamiento de espacios congelados, depósitos, entre otros”. (p.26).

En la figura 1, se detalla el proceso de producción del poliestireno expandido

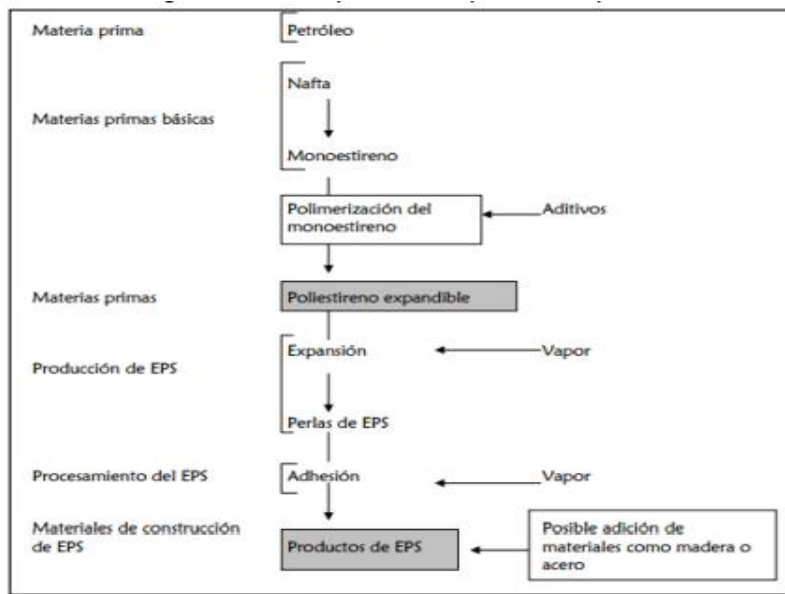


Figura 1. Proceso de producción del poliestireno expandido  
 Fuente: Recuperado del documento “el EPS en la ingeniería civil” – Anape, (2014)

#### 5.1.4. Características del poliestireno expandido

Según Peña, J y Moncaleano, L (2016) describen algunas características del poliestireno expandido y la importancia en la Ingeniería Civil:

- El EPS es ligero y por ello sencillo de procesar.
- Para el sector de la ingeniería civil es importante además que el EPS no se ve afectado por el agua/humedad tras su inmersión y que no se produce difusión en el material.
- Puede soportar cargas mecánicas gracias a su especial estructura de celdas.
- Es muy duradero y no se deteriora con el transcurso del tiempo.
- Es un producto "mono-material", es decir, consta de un solo material, lo que supone una gran ventaja a la hora de su reciclaje.

- Es un material inocuo para las aguas subterráneas ya que no desprende ninguna sustancia.
- Capacidad de absorción de los impactos.

De esta manera, se puede describir comportamientos de la EPS en su fase de ejecución como lo es la reducción de costos de transporte, recursos humanos, manipulación mecánica mejorando el rendimiento, desarrollo y mejoras en la calidad del trabajo, y un mejor comportamiento antisísmico, ya que se reduce la masa de la estructura, lo que minimiza la deformación horizontal de la infraestructura.

Según, el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C, diciembre, 2013 “Específicamente el concreto con poliestireno se fabrica con cemento, arena y esferas de poliestireno expandido (“perlas”), cuyos diámetros oscilan entre 1 y 6 mm; llegándose a obtener con este material densidades mayores a los 600 kg/m<sup>3</sup>” (p.12).

#### **5.1.5. El Concreto**

Según, Hernández, H y Sánchez, H, (2015). “El concreto es una mezcla de diversos elementos utilizada en la construcción. Al concreto se le agrega un aditivo el cual tiene diferentes funciones, tales como reducir el agua, acelerar la resistencia, incrementar su trabajabilidad, etc.” (p.24).

Según, Hernández, H y Sánchez, H, (2015). “El concreto estructural, es aquel tipo de concreto que es utilizado con fines estructurales los cuales pueden ser concretos simples o reforzados”. (p.24). Hernández, H y Sánchez, H, (2015), afirman que “El concreto simple, es aquel concreto que en su mezcla es hecho con cemento, agregados pétreos y agua para

uso estructural, pero en los elementos estructurales donde es colocado no hay acero de refuerzo.” (p.25).

Hernández, H y Sánchez, H, (2015), describen al concreto reforzado “como aquel concreto en que los elementos estructurales donde es colocado hay acero de refuerzo con el fin de resistir los esfuerzos de tensión”. (p.25).

**Tabla 1. Clasificación del concreto según su peso unitario**

Peso unitario aproximado Kg/m <sup>3</sup>	Descripción
500-2.000	Concreto ligero
2.100-2.500	Concreto normal
2.500-5.600	Concreto pesado

Fuente: Montejo, A, Montejo, F, Y Montejo, A. (2013).

#### **5.1.6. Determinación de la resistencia del concreto**

Según Tejada y Valencia (2017). Es vital para una determinada mezcla, determinar en los procesos la resistencia a la compresión e identificar las posibles aplicaciones para determinar su nivel de factibilidad dentro de los proyectos.

Así mismo, Tejada y Valencia (2017). Afirman que “Para determinar la resistencia última a la compresión del concreto es necesario graficar el diagrama de esfuerzo-deformación unitario que es obtenido a partir de la realización del ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (NTC 673)”.

De esta manera, la conducta del concreto sometido a compresión da como consecuencia una línea recta dentro de la gráfica de esfuerzo-deformación, reflejando el esfuerzo último para dicho concreto en su punto más alto, así mismo, el concreto es capaz de seguir soportando cargas, sin embargo, a partir de esto el comportamiento de la gráfica presenta variaciones significativas por lo que no es confiable aplicar cargas por encima de este punto. En la figura 2 se puede observar lo anteriormente mencionado.

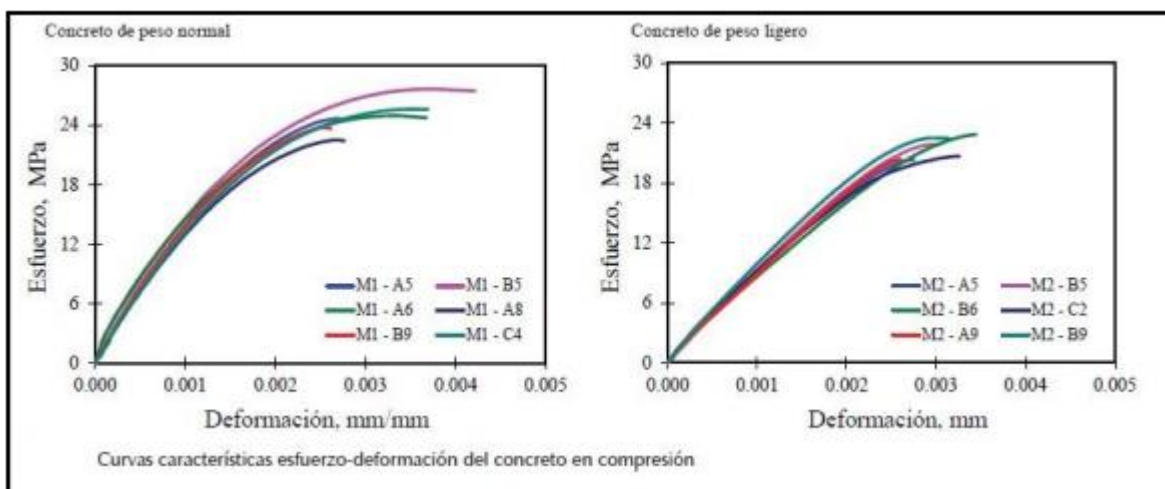


Figura 2. Esfuerzo deformación obtenidas en la investigación propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo  
Fuente: Tejada, A y Valencia, P. (2017).

### 5.1.7. Parámetros de resistencia del concreto

En conclusión, Tejada, A y Valencia, P. (2017) afirman que, la resistencia a compresión del concreto varía según los siguientes parámetros:

La relación agua-cemento (a/c), Tiene influencia sobre la resistencia, la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida. La relación agua / cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido

de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua / cemento tanto más favorable son las propiedades de la pasta de cemento endurecida. (p.18).

El tamaño del agregado a elegir para el diseño de una mezcla de concreto se basará en el tamaño y forma del elemento de concreto.

Para las condiciones de humedad durante el curado, Tejada, A y Valencia, P. (2017).

Resaltan que:

El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas, de manera que éste pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después del vaciado y el acabado, de manera que el concreto pueda desarrollar la resistencia y la durabilidad deseada. (p.18).

Estos procesos deben cumplir con un adecuado suministro de humedad, ya que los materiales cementantes en el concreto generan reacciones para desarrollar un producto de alta calidad. Igualmente se debe tener en cuenta la edad del concreto, el cual tiene un tiempo de curado de 28 días, el cual es el tiempo óptimo para evitar problemas en la resistencia proyectada del concreto.

## **5.2.Marco Geográfico**

La investigación se desarrollará en la Universidad Libre seccional Pereira, en el laboratorio de resistencia de materiales, pavimentos y suelos.

## **5.3.Marco Legal**

La investigación esta soportada por las siguientes normas:



- Las especificaciones acerca de la realización del ensayo de compresión para concretos se encuentran en la norma Icontec No 673.
- EL procedimiento a seguir en la elaboración de mezclas y toma de muestras para la realización de cilindros de concreto está estipulado en la norma Icontec No 550.
- La resistencia para el concreto estructural, así como sus demás parámetros requeridos en Colombia se encuentran estipulados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

## **6. Diseño Metodológico**

### **6.1. Tipo de investigación**

La metodología de investigación abordada es de carácter descriptivo, ya que “en este tipo de investigación se describen los detalles directos que rodean al evento y otros que se suscitan alrededor del evento principal.” (Moreno, 2005, p. 31). Por cuanto, el estudio requiere detallar cuidadosamente los procesos y pruebas realizadas para el diseño de la mezcla, basada en los principios planteados por la norma NRS-10.

La naturaleza de la información será de carácter cualitativo, ya que “su función puede ser describir o generar teoría a partir de los datos obtenidos” (Lerma, 2001, p. 37), es decir, cada una de las variables expuestas en el análisis del contexto. Cabe destacar que esta investigación también utilizara información de carácter cuantitativo, debido a que hace énfasis a un tipo de pensamiento deductivo donde se evalúa la “recolección de datos para probar una hipótesis por medio de una medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones, comportamiento y comprobar teorías (Hernández et al., 2014), lo que permitirá evaluar el diseño del puesto

El método de estudio es experimental, dado en este tipo de estudios se manipula una o más variables por parte del investigador, con el fin de tener un control de su comportamiento, conocer sus puntos de aumento o disminución de las variables y el efecto que generan en los diversos comportamientos observadas. De acuerdo con Murillo (s.f), este método se basa en:

Hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones

rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. (p.5)

Así mismo, como este proyecto surge de la necesidad de generar nuevos materiales con el fin de optimizar los procesos en cuanto a costo y beneficio para la comunidad, el cual en este caso será el poliestireno extendido o icopor, la cual se evaluara mediante ensayos y pruebas de laboratorio basados en lo planteado por la norma NTC 1377 (Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio) y NTC 673 (Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto) con el fin de determinar si cumple con lo especificado y tiene la resistencia suficiente para ser utilizado como un concreto de aplicación para estructuras.

## **6.2.Fuentes de recolección de información**

Las técnicas de recolección de información se basaron en dos fuentes:

- Fuentes primarias: Las principales fuentes serán los formatos de diseño arquitectónico y estructural y documentos relacionados con el diseño de estas estructuras
- Fuentes secundarias: Se recurrió a la bibliografía y se hizo una búsqueda de los antecedentes en trabajos investigativos llevados a cabo en base al tema del diseño de mezclas de concreto, al igual que la búsqueda de información teórica en documentos, textos, revistas y bases de datos.

## **6.3.Diseño experimental**

A continuación, se procede a describir los factores de estudio, los tratamientos utilizados y las pruebas a realizar

- Factores

Los factores claves de esta investigación se basan en el porcentaje de poliestireno expandido como aditivo y la resistencia del concreto a manejar.

- Tratamiento

Se realizan dos tratamientos, definiendo ensayos de compresión:

- Ensayo compresión para las probetas con poliestireno

Se realizan 30 ensayos para el poliésterino siendo requeridos: 5 testigos para cada momento de curado en la prueba de compresión (3 días, 7 días, 14 días, 21 días y 28 días), observando la resistencia según el peso del cilindro mojado, fallado y seco.

- Ensayo de compresión para las probetas sin poliestireno

Se realizan 30 ensayos para el concreto siendo requeridos: 5 testigos para cada momento de curado en la prueba de compresión (3 días, 7 días, 14 días, 21 días y 28 días), observando el la resistencia según el peso del cilindro mojado.

- Pruebas

Para determinar la magnitud de los factores a estudiar, se realiza un análisis de varianza porcentaje de poliestireno en relación al volumen de mezcla de 0%, 3%, 5%, 7%, 10%, 13% y 15%, sobre una mezcla de concreto de resistencia media (3500 PSI).

Las pruebas de concreto se realizan a los 3, 7, 14, 21 y 28 días de curado, para así definir los porcentajes de poliestireno expandido que son factibles de utilizar.

#### **6.4.Matriz de diseño metodológico**

A continuación, en la Tabla 1, se presenta la matriz del diseño metodológico utilizado en esta investigación:

**Tabla 2. Matriz de diseño metodológico**

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Metodología</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Variables</b>
Realizar un estudio bibliográfico relacionado con el diseño de mezclas de concreto a partir de poliestireno y su uso en los procesos de control de calidad.	Cualitativa	Referencias bibliográficas	
Elaborar pruebas de laboratorio con proporciones de poliestireno expandido de 3%, 5%, 7%, 10%, 13% y 15% en la mezcla, para determinar la resistencia a la compresión de probetas, la densidad y el peso.	Experimental	NTC 1377 y NTC 673	
Diagnosticar, evaluar y caracterizar si la probeta cumple con lo requerido por la norma NSR-10 de acuerdo con los resultados de las pruebas realizadas	Cualitativa	Aplicación de conocimientos adquiridos.	

Fuente: Elaboración de los autores

### **6.5.Fases y resultados de la investigación**

Para el desarrollo y alcance de los objetivos mencionados anteriormente se plantearon tres fases, en la tabla 3, 4 y 5 se detalla cada fase respectivamente:

**Tabla 3. Fase I. Estudio bibliográfico y revisión de antecedentes**

<b>Objetivo</b>	<b>Actividades</b>
Realizar un estudio bibliográfico relacionado con el diseño de mezclas de concreto a partir de poliestireno y su uso en los procesos de control de calidad.	Investigación documental Conocimiento de antecedentes Justificación de la investigación por medio de argumentos previamente sustentados.

Fuente: Elaboración de los autores

**Tabla 4. Fase 2 – Pruebas de laboratorio**

<b>Objetivo</b>	<b>Actividades</b>
Elaborar pruebas de laboratorio con proporciones de poliestireno expandido de 3%, 5%, 7%, 10%, 13% y 15% en la mezcla, para determinar la resistencia a la compresión de probetas, la densidad y el peso.	Selección de materiales convencionales Compra del material reciclado (poliestireno expandido) Diseño de mezcla y Elaboración de cilindros ensayos

Fuente: Elaboración de los autores

**Tabla 5. Diagnóstico y caracterización de la probeta**

<b>Objetivo</b>	<b>Actividades</b>
Diagnosticar, evaluar y caracterizar si la probeta cumple con lo requerido por la norma NSR-10 de acuerdo con los resultados de las pruebas realizadas	Análisis de los datos Presentación de resultados

Fuente: Elaboración de los autores

## **7. Desarrollo del proyecto**

A continuación, se procede a mostrar las características del concreto respecto a la resistencia entre los cuales se distinguen: la compresión, tracción, flexión y corte. Con el fin de obtener un diseño correcto en cuanto a la mezcla es necesario tomar en cuenta la calidad de los agregados a usar. Lo anterior, causa la ejecución de una serie de ensayos para conocer los materiales requeridos:

### **7.1. Caracterización de los agregados**

Los parámetros requeridos en la normas INVIAS y NTC, las cuales están sujetas a cumplir los agregados para la elaboración de mezclas de concreto son los siguientes.

#### **7.1.1. Granulometría**

El ensayo de granulometría, se utiliza para distribuir correctamente los tamaños de los agregados, según Rengifo (2015), “Los ensayos de granulometría tienen por finalidad determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño” (p.3). Así mismo, los resultados se emplean para verificar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones requeridas para el diseño de las mezclas. Estas especificaciones se tienen en cuenta para identificar las partículas de tamaño superior a 0.075 y se logra por medio de un tamizado el cual se aplica con unas mallas normalizadas. (Rengifo, 2015).

Los agregados conforman el 75% de una mezcla típica de concreto en volumen. Estos son básicamente componentes como: las arenas, gravas naturales y la piedra triturada que se dividen en gruesos y finos, y se usan normalmente en la fabricación de morteros y concretos. (Rengifo, 2015).

Es importante resaltar, que los parámetros establecidos según la Norma Técnica Colombiana NTC 174 del 2000, este material de análisis debe tener la gradación suficiente y específica para elaborar la mezcla de concreto adecuada.

- Equipos requeridos:

Los equipos necesarios que se requieren para la ejecución de este procedimiento son:

- Balanza
- Tamices
- Tamizadora mecánica

- **Resultados**

En la figura 3, se observan los resultados de la granulometría de agregados finos,

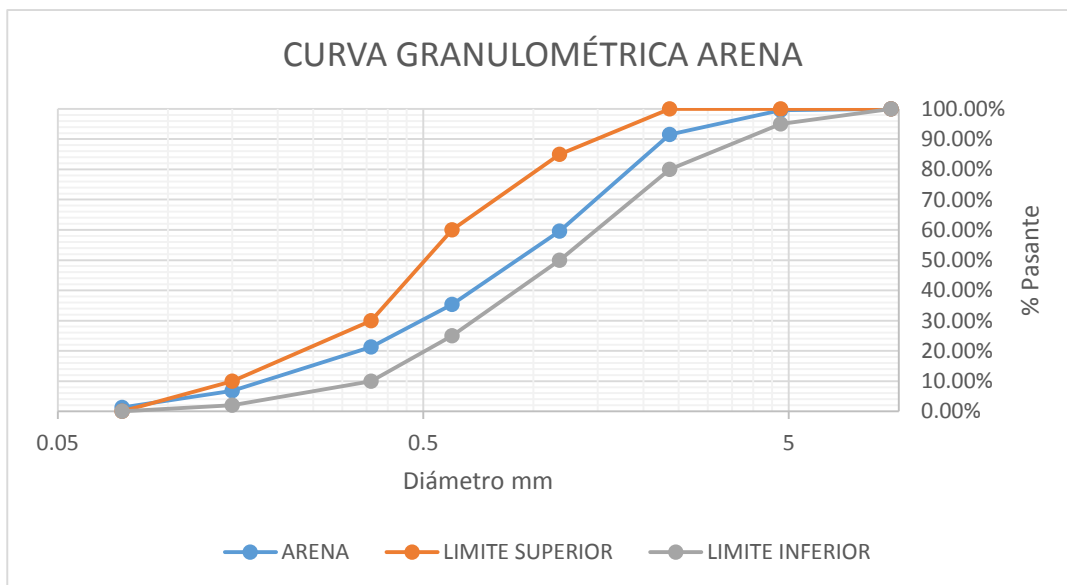


Figura 3. Granulometría agregado fino  
Fuente: Elaboración propia



En la figura 4, se observan los resultados de la granulometría de agregados grueso, el cual para este ensayo fue grava de ¾":

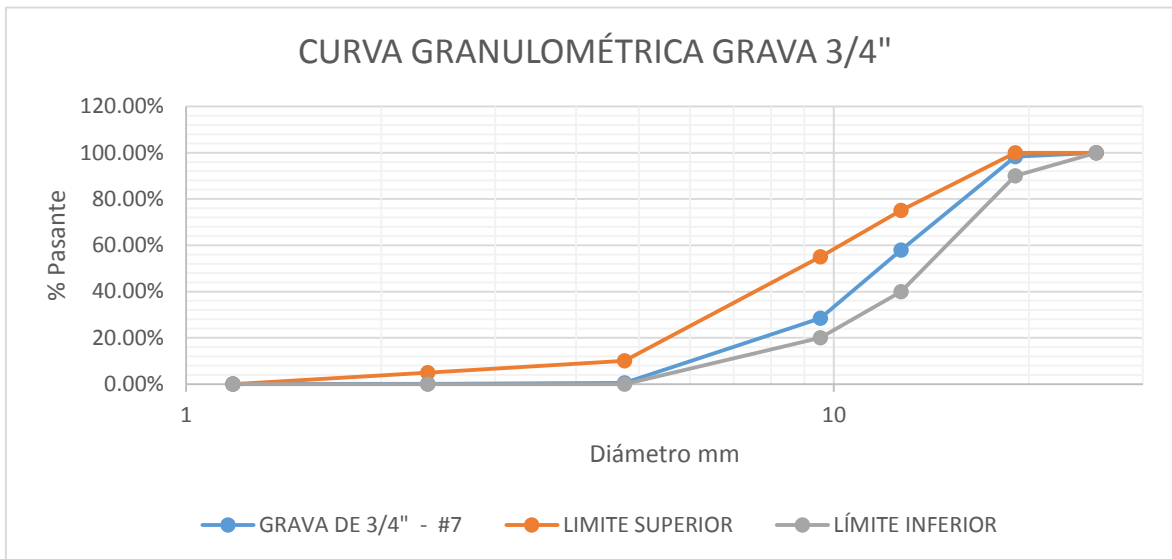


Figura 4. Granulometría agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.2. Índice de alargamiento y aplanamiento

Todos los procesos que se emplean en los diseños de las mezclas, están sometidos a diversos ensayos y descripciones que permiten garantizar el buen desempeño basado en los comportamientos y durabilidad esperada, con el fin de determinar el porcentaje final y así concluir si pueden ser utilizados como principales componentes de la estructura a utilizar en el concreto. (Sánchez, 2005).

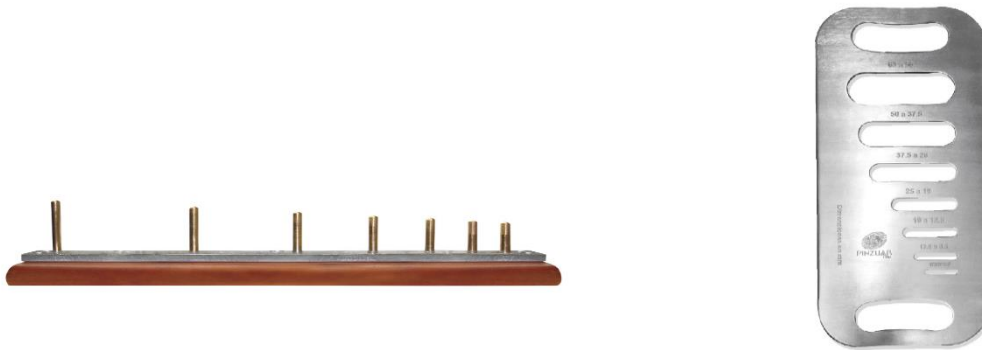
Así mismo, se puede resaltar como ambas pruebas en cuanto a la caracterización de los agregados y la calidad del material, determinan la cantidad de partículas funcionan de manera específica incrementando la resistencia y fricción. De esta manera también se puede percibir las caras fracturadas o bien sea disminuyendo la calidad de las propiedades, creando un material complejo, lo que dificultad su manipulación, ya que las partículas

planas y alargadas por su escasa durabilidad generan una problemática en sus procesos. Es por esto que se realizan ensayos en los procesos de índice de alargamiento y aplanamiento. Estos procesos de ensayo se especifican en la norma INV- E230, específicamente en el artículo 300 de la norma Invias, el cual explica y hace énfasis en las características morfológicas de todos los materiales. Su principal enfoque se basa en separar o dividir las partículas planas y largas por medio de ranuras que facilitan la separación de los agregados, por lo cual estos agregados cumplen con su dimensión final menor que 0,6 veces su dimensión estándar y promedio, y a su vez mayores en 1,8 veces a su dimensión estándar.

Los índices de aplanamiento y alargamiento son determinados por su porcentaje en peso de partículas planas y alargadas.

## Equipos

1. Calibrador de aplanamiento y alargamiento.



*Figura 5.* Calibrador de alargamiento y aplanamiento

Fuente: (Pinzuar, 2019) productos. Recuperado de:

<https://www.pinzuar.com.co/pinzuar/es/productos/agregados/calibrador-de-alargamiento/>

2. Tamices. 2 1/2"; 2"; 1 1/2"; 1"; 3/4"; 1/2"; 83"; 1/4".
3. Bandejas
4. Cuarteador

5. Balanza. Sensibilidad de 0.1% el peso de la muestra que se ensaya.

Procedimiento:

- Índice de aplanamiento:

1. Todas las muestras separadas que se utilizan en los ensayos, deben ser procesadas por el calibrador de espesores en la ranura que corresponda a la fracción del mismo.

2. Se debe tomar el peso de todas las partículas de las fracciones estudiadas que pasan por la ranura correspondiente con una aproximación al 0,1% de su peso total de la muestra en el ensayo previo.

En la Tabla 6, se observan los resultados del índice de aplanamiento

**Tabla 6. Calibrador de alargamiento y aplanamiento**

<b>Tamaño</b>	<b>Peso fracción retenida</b>	<b>Peso material con aplanamiento</b>	<b>Índice de aplanamiento</b>
	<b>(g)</b>	<b>(g)</b>	<b>(%)</b>
<b>1 " - 3 / 4 "</b>	0	0	0
<b>3/4 " - 1 / 2 "</b>	634	61,7	9,7
<b>1 / 2 " - 3 / 8 "</b>	513	23,9	4,7
<b>3 / 8 - 1 / 4 "</b>	280	10,4	3,7
<b>TOTAL</b>	1427	96,0	6,7
<b>INDICE DE APLANAMIENTO (%)</b>			<b>7</b>

Fuente: Elaboración propia

- Índice de Alargamiento

1. Cada una de las muestras separadas se hace pasar por el calibrador de longitud por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya.

2. Pesar la cantidad de partículas de cada fracción, retenida entre las dos barras correspondientes, aproximación al 0.1% del peso total de la muestra de ensayo.

En la tabla 7 se observan los resultados:

**Tabla 7. Índice de alargamiento**

Tamaño	Peso fracción retenida	Peso material con alargamiento	Índice de alargamiento
	(g)	(g)	(%)
1 " - 3 / 4 "	0	0	0
3/4 " - 1 / 2 "	634	94,1	14,8
1 / 2 " - 3 / 8 "	513	35,8	7,0
3 / 8 - 1 / 4 "	280	0	0,0
<b>TOTAL</b>	1427	129,9	9,1
<b>INDICE DE ALARGAMIENTO (%)</b>			<b>9</b>

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.3. Resistencia al desgaste. Máquina de los Ángeles

Este proceso se utiliza para establecer la resistencia de los agregados naturales, específicamente los triturados, los cuales se hallan al emplear la máquina de los ángeles con carga abrasiva con el objetivo de suponer o simular los posibles efectos de los materiales a los cuales se someterán en futuras condiciones.

Este método es el proceso más utilizado, ya que permite obtener un indicador en base a un resultado de la calidad relativa en diversas fuentes de los agregados pétreos en circunstancias mineralógicas similares, teniendo en cuenta que sus comparaciones no se reflejan con rapidez entre una y otra fuente con diferentes composiciones, lo que difiere del origen, la estructura de cada material y su composición.

La herramienta utilizada está determinada por un tambor cilíndrico hueco de acero, que cuenta con un eje horizontal a un motor, el cual desarrolla una clase de movimiento rotacional sobre el mismo eje, por lo tanto se enfrenta a una acción entre las esferas de acero sobre el material utilizado lo que genera un desgaste forzado, Así mismo, se determina el desgaste de la muestra a utilizar, la cual está indicada por un porcentaje de su masa inicial de la muestra previamente ensayada.

“Se toman las masas antes y después del proceso de desgaste, con esta diferencia es posible determinar el porcentaje de pérdida ante el desgaste a una carga abrasiva” (Sanches, 2005). p. 214).

En la figura 6 se observa la maquina:



*Figura 6.* Máquina de los ángeles

Fuente: Pinzuar (2019) productos. Recuperado

de: <https://www.pinzuar.com.co/pinzuar/es/productos/agregados/calibrador-de-alargamiento/>

- Materiales y equipo
- Balanza: que permita la determinación de la masa con precisión de 0,1%
- Horno: que pueda mantener una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

- Tamices: serie de tamices entre 37.5mm y 4.75mm.
  - Prueba de la máquina de los ángeles: está determinada por la norma INV- E 218-07, la cual cuenta con una característica particular, la cual es generar un ensayo de desgaste.
  - Carga abrasiva: esta carga oscila entre 5000g y 2500g, y depende específicamente de la granulometría y se regula por la norma INV- E 218-07.
- Procedimiento
1. Para el ensayo, se toma la muestra y su respectiva carga abrasiva, las cuales son colocadas en la máquina de los ángeles y se hace girar el cilindro en una velocidad que oscila entre 30 y 34 r.p.m con el fin de completar las 500 revoluciones sugeridas para realizar un proceso óptimo.
  2. Al descargar el material, se debe separarlo por tamices obteniendo un valor significativo de la muestra.
  3. Cada material extraído debe ser lavado, si llega a presentar polvo en altas cantidades o costras generadas en el ensayo.
  4. Medir la masa del material selecto.
- Resultados

En la tabla 8 se observan los resultados expuestos anteriormente:

**Tabla 8. Resultados máquina de los ángeles**

MÉTODO	A
MASA INICIAL (gr)	<b>5000</b>
MASA FINAL (gr)	<b>4693</b>
% DESGASTE	<b>6,54%</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 7.1.4. Resistencia al desgaste. Sulfato de sodio o sulfato de magnesio

A continuación, en las tablas 9 y 10, se observan los resultados de la Resistencia al desgaste de cada agregado, tanto gruesos como finos, determinando el tamaño, el peso, y la pérdida en peso para cada uno, para finalmente calcular el porcentaje de pérdida:

**Tabla 9. Porcentaje pérdida gruesos**

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PERDIDA EN PESO (g)
PASA	RETIENE			
2 1/2	2	0,00	0,00	0,00
2	1 1/2	0,00	0,00	0,00
1 1/2	1	0,00	0,00	0,00
1	3/4	506,90	506,40	0,50
3/4	1/2	672,40	637,80	34,60
1/2	3/8	331,30	308,30	23,00
3/8	4	300,60	289,10	11,50
<b>TOTAL</b>		<b>1811,20</b>	<b>1741,60</b>	<b>69,60</b>
<b>PORCENTAJE DE PÉRDIDA GRUESOS (%)</b>				<b>3,84</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10. Porcentaje pérdida finos**

TAMANO DEL AGREGADO		PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PERDIDA EN PESO (g)
PASA	RETIENE			
3/8	<b>No. 4</b>	100,00	97,10	2,90
No. 4	<b>No. 8</b>	100,00	93,20	6,80
No. 8	<b>No. 16</b>	100,00	97,50	2,50
No. 16	<b>No. 30</b>	100,00	95,20	4,80
No. 30	<b>No. 50</b>	100,00	95,80	4,20
No. 50	<b>No. 100</b>	100,00	95,30	4,70
No. 100	<b>No. 200</b>	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>		<b>600,00</b>	<b>574,10</b>	<b>25,90</b>
<b>PORCENTAJE DE PÉRDIDA FINOS (%)</b>				<b>4,32</b>

Fuente: Elaboración propia

### **7.1.5. Masas unitarias**

Las masas unitarias sueltas y compactas, son determinadas y seleccionadas en los ensayos para dar a conocer el comportamiento de estos materiales en el momento que sean usados como complemento para el concreto, es debido a los ensayos que se permite saber el material extra necesario para cubrir los espacios vacíos que se presentan en la mezcla. Así mismo, es indispensable conocer el contenido del aire para crear una óptima mezcla de concreto, ya que al contar con mayor cantidad de aire en la mezcla la resistencia del concreto disminuirá de manera notable. De esta manera estos procesos van sujetos a la norma NTC 92, la cual es explicita en los procedimientos para realizar dichas pruebas.

Equipo

- Balanza
- Varilla de apisonamiento
- Molde

### **7.1.6. Densidad específica y porcentaje de absorción**

- Densidad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso

La densidad es una característica principal en las propiedades físicas de los agregados, ya que por medio de los ensayos se puede determinar si el tipo de agregado tiene poros saturables o no saturables, ya que depende de su permeabilidad se puede saber si están vacíos, parcialmente saturados o saturados en su defecto, lo que genera una serie de estados de humedad y densidad de dicho material. Fuente

- Equipo:
  - Canastilla metálica



- Tanque con agua
  - Dispositivo en suspensión
  - Tamiz # 4
  - Grava sumergida en agua durante 24 horas
- Procedimiento:
1. Se realiza un cuarteo del agregado.
  2. Se debe incorporar dicho agregado grueso en el tamiz #4, para proceder a eliminar el material pasante de este tamiz.
  3. Se lleva la muestra al horno.
  4. Se debe dejar enfriar la muestra y se procede a pesarla.
  5. En el proceso se debe sumergir la muestra de prueba en agua durante 24 horas.
  6. Posterior a la inmersión, se debe secar la muestra con un paño.
  7. Se establece el peso de la muestra en estado saturado.
  8. Se esparce la muestra en la canasta metálica.
  9. Determinar su peso sumergido en el agua.
  10. Se extrae la muestra de la canasta y se ingresa nuevamente al horno en un tiempo que oscila entre dos y tres horas.
  11. Se establece nuevamente su peso.
- Resultados

**Tabla 11. Densidad específica grava y % absorción agregados gruesos**

Peso en el aire de la muestra seca (g) (A)	1047,2
Peso en el aire sss (g) (B)	1070,5
Peso muestra sumergida en agua (g) (C)	695,0
Peso Específico Aparente (A / B-C)	2,789

Peso Específico Aparente S.S.S ( B / B-C )	2,851
Peso Específico Nominal ( A / A-C )	2,973
Absorción (( B - A ) / A ) * 100	2,22

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12. Densidad específica % absorción agregados finos**

Peso en el aire de la muestra seca (g) (A)	95,2
Peso picnómetro lleno agua (g) (B)	<b>348,0</b>
Peso picnómetro + agua + muestra (g) (C)	<b>411,3</b>
Peso muestra SSS (g) (S)	<b>100,0</b>
Peso Específico Aparente ( $0,9975 * A / (B + S - C)$ )	<b>2,588</b>
Peso Específico Aparente S.S.S ( $0,9975 * S / (B + S - C)$ )	<b>2,719</b>
Peso Específico Nominal ( $0,9975 * A / (B + A - C)$ )	<b>2,982</b>
Absorción (( S - A ) / A ) * 100	<b>5,10</b>

Fuente: Elaboración propia

## 7.2. Dosificación

- Agregados

En la tabla 13 se pueden observar las características de los agregados para la mezcla

**Tabla 13. Características de los agregados**

DATOS AGREGADOS			
Parámetro	FINO	GRUESO	Unidad
Perfil		Angular	
Peso unitario suelto	1615	1605	Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1725	1705	Kg/m <sup>3</sup>
Peso específico	2588	2789	Kg/m <sup>3</sup>
Módulo de finura	2,86%	7,30%	%

Tamaño Máximo	3/8	3/4	pul
Tamaño Máximo Nominal	#4	1/2	pul
%Absorción	5,10%	2,22%	%
%Humedad (w)	6,06%	1,11%	%

Fuente: Elaboración propia

- Cemento

En la Tabla 14 se observan las características del cemento a utilizar para la mezcla:

**Tabla 14. Características del cemento**

<b>DATOS CEMENTO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Marca	Cemex	Portland Tipo I
f <sub>c</sub>	35	MPa
f <sub>c</sub>	356,90	Kg/cm <sup>2</sup>
Densidad del cemento	3100	Kg/m <sup>3</sup>
Asentamiento	10	cm

Fuente: Elaboración propia

- Agua

En la Tabla 15 se observan las características del cemento a utilizar para la mezcla:

**Tabla 15. Características del agua**

DATOS CEMENTO		
Parámetro	Valor	Unidad
Asentamiento	4	pul
Densidad del Agua	1000	Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.1. Selección del asentamiento

Con base al tipo de material que se pretende analizar en este estudio, se seleccionó un asentamiento de 10 cm, el cual según ASOCRETOS hace parte de la consistencia “Media (plástica)” que se utiliza para pavimentos compactados a mano como losas, vigas, vigas, muros, columnas, entre otras.

### 7.2.2. Chequeo del tamaño máximo nominal

El tamaño máximo nominal del agregado disponible se observa en la tabla 16

**Tabla 16. Chequeo del tamaño máximo nominal**

Chequeo del tamaño máximo nominal			
Parámetro	FINO	GRUESO	Unidad
Tamaño Máximo	3/8	3/4	Pul
Tamaño Máximo Nominal	#4	1/2	Pul

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.3. Estimación del agua de mezcla

Con base a la figura 7, para obtener un asentamiento de 10 cm con una TMN = 1/2”, es necesario 216 Lt de agua por m<sup>3</sup> de concreto

Agua en l/m <sup>3</sup> , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicada.								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-----
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-----

Figura 7. Contenido de agua por m<sup>3</sup> de concreto, según el asentamiento y el TMN  
Fuente: Comité 211 de ACI

#### 7.2.4. Determinación de la resistencia de dosificación.

La resistencia de la dosificación seleccionada se evidencia en la Tabla 17

Tabla 17. Resistencia a la compresión promedio requerida ( $f'_{cr}$ )

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO REQUERIDA (<math>F'_{cr}</math>)</b>		
Parámetro	Valor	Unidad
$f_c$	35	MPa
$f_c$	356,90	Kg/cm <sup>2</sup>
$f'_{cr}$	44,61	MPa
$f'_{cr}$	454,90	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Observaciones</b>	No se tiene desviación estándar resultante del registro de resistencia de probetas	

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.5. Selección de la relación Agua/Cemento.

La Tabla 18 muestra el comportamiento de los materiales según la resistencia a la compresión, la cual con una resistencia de 43,24 MPa se obtiene un valor de relación Agua/Cemento tomando como referencia los parámetros del comité 211 ACI:

**Tabla 18. Relación Agua/Cemento**

<b>RELACIÓN AGUA/CEMENTO (Función F'cr)</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
f'c	35	MPa
f'c	356,90	Kg/cm <sup>2</sup>
f'cr	43,24	MPa
f'cr	440,90	Kg/cm <sup>2</sup>
A/C	<b>0,39</b>	

**Observaciones** SIN AIRE INCORPORADO

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.6. Contenido de Cemento

En la Tabla 19 se detalla el contenido del cemento a utilizar para la mezcla:

**Tabla 19. Contenido de Cemento**

<b>CONTENIDO DE CEMENTO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
A/C	0,39	MPa
Volumen unitario de agua	216	litros/m <sup>3</sup>
Contenido de cemento	555,13	Kg
Sacos cemento 50 Kg	11,10	Sacos

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.7. Contenido de agregados.

- Peso agregado grueso

En la Tabla 20, se detalla el valor del peso agregado grueso

**Tabla 20. *Peso agregado grueso***

<b>PESO AGREGADO GRUESO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Módulo de finura ARENA	2,86%	%
Tamaño Máximo Nominal GRUESO	1/2	Pul
Peso unitario compactado GRUESO	1705	Kg/m <sup>3</sup>
b/b <sub>0</sub>	0,54	m <sup>3</sup>
Peso Agregado Grueso	927,52	Kg

Fuente: Elaboración propia

- Volumen Absoluto de materiales

Posteriormente, una vez calculado el peso agregado grueso, se procede a realizar el cálculo de volúmenes y de agregado fino, el cual se calcula restándole a 1 la suma del volumen de todos los materiales (aire, agua, cemento, agregado grueso). En la tabla 21 se detalla el proceso para el cálculo volumen del agregado fino:

**Tabla 21. *Cálculo de volúmenes y agregado grueso***

<b>CALCULO DE VOLÚMENES Y AGREGADO FINO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Volumen aire	0,025	m <sup>3</sup>
Volumen agua	0,216	m <sup>3</sup>
Volumen de cemento	0,179	m <sup>3</sup>
Volumen de Agregado Grueso	0,333	m <sup>3</sup>
Volumen de Agregado Fino	0,247	m <sup>3</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>1,0</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración propia

- Peso Agregado fino

Posteriormente se realiza el cálculo del peso del agregado fino, el cual consiste en multiplicar el valor del peso específico agregado fino por el volumen de agregado fino calculado anteriormente. En la tabla 22 se observa el cálculo del proceso:

**Tabla 22. *Peso agregado fino***

<b>PESO AGREGADO FINO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso Específico Agregado Fino	2588	Kg/m <sup>3</sup>
Volumen de Agregado Fino	0,247	m <sup>3</sup>
Peso Agregado Fino	640,17	Kg

Fuente: Elaboración propia

### **7.2.8. Cálculo de proporciones**

A continuación, en la tabla 23 y 24 se presentan los resultados del diseño de la mezcla en estado seco con sus respectivas proporciones

- Diseño

**Tabla 23. *Diseño mezcla seca***

<b>DISEÑO EN ESTADO SECO</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso Cemento	555	Kg
Peso Agregado Fino	640,17	Kg
Peso Agregado Grueso	927,52	Kg
Peso Agua	216	Litros

Fuente: Elaboración propia



- Proporciones

**Tabla 24. Proporciones en estado seco**

<b>PROPORCIONES SECO</b>			
<b>CEMENTO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>	<b>AGUA</b>
<b>1</b>	<b>1,15</b>	<b>1,67</b>	<b>19,45</b>

Fuente: Elaboración propia

- Correcciones por humedad

Las correcciones por humedad se aplican a los agregados, en los cuales se presentaron cambios en su peso debido a un aumento del 6,06% en el porcentaje de humedad para el agregado fino, generando un aumento en su peso de 38,8 kg. Y en el agregado grueso se presentó un aumento del 10,30 kg en su peso debido a una corrección por humedad de 1,11%. En la Tabla 25 se detalla lo mencionado anteriormente:

**Tabla 25. Correcciones por humedad**

<b>CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso Agregado Fino	640,17	Kg
%Humedad FINO (w)	6,06	%
Peso Agregado Grueso	927,52	Kg
%Humedad GRUESO (w)	1,11	%
Peso Agregado Fino CORREGIDO	678,97	Kg
Peso Agregado Grueso CORREGIDO	937,82	Kg

Fuente: Elaboración propia

Después de calculado el aporte de agua a la mezcla, se determina que con un % de absorción de 5,1% para agregado fino y 2,22% para agregado grueso, la sumatoria de agua aportada por agregados es de -4,14 litros.

- Diseño final

Finalmente, después de realizadas las correcciones por humedad dl diseño seco y determinado el peso que se aporta de agua a la mezcla, se obtiene el resultado del diseño final, en la Tabla 26, se observa este resultado:

**Tabla 26. Diseño Final del concreto**

DISEÑO FINAL DE CONCRETO		
Parámetro	Valor	Unidad
Peso cemento	555	Kg
Peso agregado fino CORREGIDO	678,97	Kg
Peso agregado grueso CORREGIDO	937,82	Kg
Peso agua	220	Litros

Fuente: Elaboración propia

- Proporciones por cilindro

Una vez determinados los pesos a utilizar para la mezcla, se detallan las proporciones del molde del cilindro en la Tabla 27:

**Tabla 27. Características molde cilindro**

CARACTERISTICAS MOLDE CILINDRO		
Diámetro (D)	15	cm
Altura (h)	30	cm
Volumen (V)	5301,4376	cm <sup>3</sup>
Cantidad de Cilindros	30	

Valores Porcentuales	6	
Cilindros por porcentaje	5	
Volumen (V)	0,00530144	m3

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de material para cada cilindro según el % de volumen de poliestireno se observa en la tabla 28:

**Tabla 28. Cantidad de material por cilindro**

CANTIDADES DE MATERIAL POR CILINDRO								
(%) Volumen	3	5	7	10	13	15	Vol total (cm3)	Peso Total icopor (gr)
<b>X1 (cm3)</b>	159,0431 281	265,0718 801	371,100 632	530,143 76	689,186 888	795,2156 404		
<b>X5 (cm3)</b>	795,2156 404	1325,359 401	1855,50 316	2650,71 88	3445,93 444	3976,078 202	14048,8 096	186,774 513
Peso icopor usar x % de vol (gr) x cilindro	1,7	2,8	3,9	5,5	7,2	8,3		
peso de icopor x5 (gr)	8,5	14	19,5	27,5	36	41,5		

Fuente: Elaboración propia

- Cantidad a fabricar

Teniendo en cuenta las características del molde del cilindro, específicamente el volumen de 0,0053 m3, las cantidades necesarias de cada material para fabricar un cilindro se detallan en la Tabla 29:

**Tabla 29. Cantidades para fabricar**

<b>CANTIDADES PARA FABRICAR</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso Cemento	117,69	Kg
Peso Agregado Fino CORREGIDO	143,94	Kg
Peso Agregado Grueso CORREGIDO	198,82	Kg
Peso Agua	46,67	Litros

Fuente: Elaboración propia

### **7.3.Procedimiento para ensayo de compresión**

Se llevaron a cabo las mezclas para diseñar un concreto con la utilización del material de prueba con distintos porcentajes de poliestireno expandido.

Se utilizan los siguientes materiales:

- Molde para la elaboración de la probeta
- Cemento
- Arena
- Triturado
- Agua
- Material de estudio (poliestireno expandido).

El procedimiento es el siguiente: El material se debe adicionar en trozos pequeños para disminuir vacíos en la elaboración de las probetas.

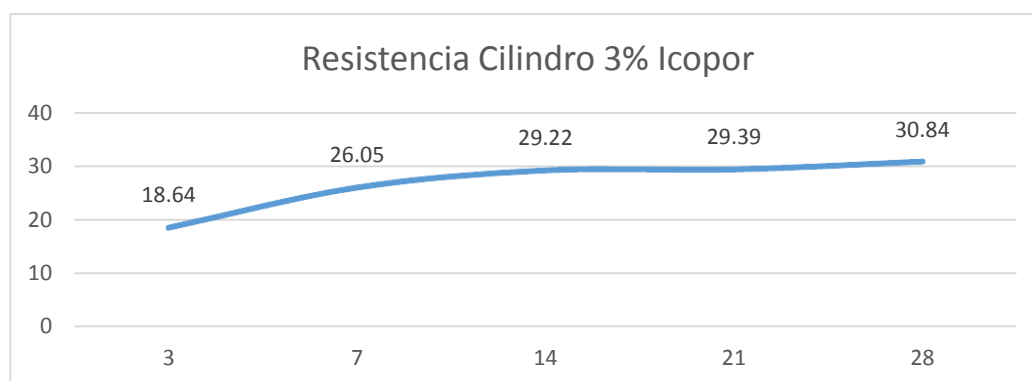
Dosificación. Se establece la dosificación adecuada de cada material a utilizar en la mezcla del concreto. Este punto se desarrolla en el párrafo anterior 7.2.

#### 7.4. Ensayo de compresión de concreto con poliestireno extendido

Se realizan 30 ensayos de compresión de concreto utilizando diferentes porcentajes de poliestireno expandido en relación al peso de mezcla de 3%, 5%, 7%, 10%, 13% y 15%, sobre una mezcla de concreto de resistencia media (3500 PSI), a los 3, 7, 14, 21 y 28 días

- Ensayo de compresión de concreto con poliestireno al 3%.

En la figura 8, se detallan los resultados del ensayo de compresión de concreto con poliestireno expandido

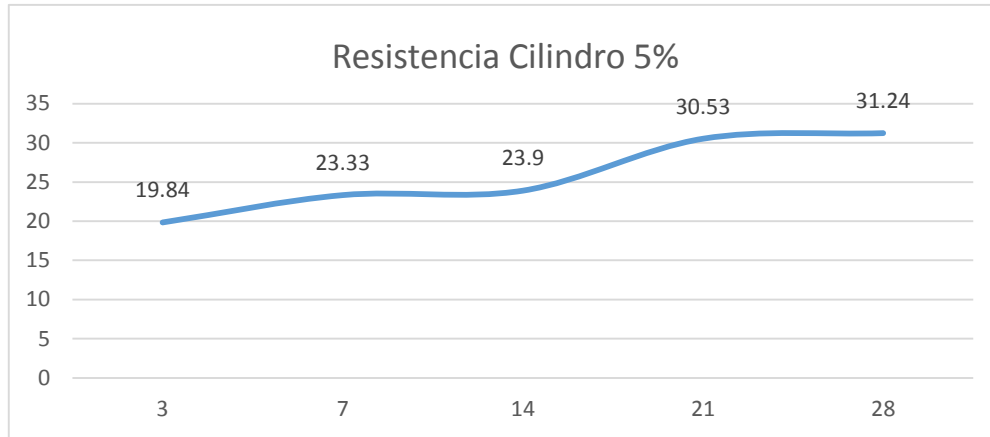


*Figura 8.* Resistencia cilindro 3% Icopor  
Fuente Elaboración propia

Se observa en la figura 8, que la resistencia del cilindro con la mezcla mencionada anteriormente y un 3% de poliestireno expandido, presenta una resistencia en el primer ensayo realizado el tercer día de 18,64%, con un comportamiento creciente para los siguientes intervalos, alcanzando en la quinta prueba el día 28 un valor de 30,84%, un incremento porcentual de 12,2% entre el primer ensayo y el quinto ensayo.

- Ensayo de compresión de concreto con poliestireno al 5% días 3, 7, 14, 21 y 28.

En la figura 9, se detallan los resultados del ensayo de compresión de concreto con Poliestireno extendido de 5%:

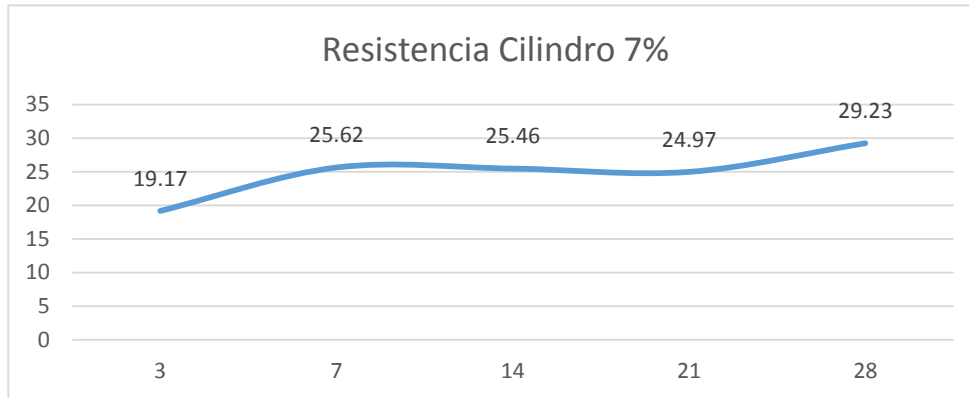


*Figura 9.* Resistencia cilindro 5% Icopor  
Fuente Elaboración propia

El comportamiento observado en la figura 9, refleja una variación positiva entre cada ensayo. La primera prueba con un 5% de poliestireno extendido, presenta una resistencia de 19.84%, para el segundo ensayo su resultado fue de 23.33%, reflejando un crecimiento entre el primer ensayo y el segundo ensayo de 3,49%. Cabe resaltar que entre la tercera prueba que presento un resultado de 23,9 y el quinto ensayo que arrojó un resultado final de 31,24%, se generó un incremento de 7,34%. Lo que demuestra la variación positiva entre cada prueba realizada.

- **Ensayo de compresión de concreto con poliestireno al 7% en los días 3, 7, 14, 21 y 28.**

En la figura 10, se detallan los resultados del ensayo de compresión de concreto con poliestireno extendido al 7%:



*Figura 10.* Resistencia cilindro 7% Icopor  
Fuente: Elaboración propia

La figura 10, muestra los ensayos realizados con 7% de poliestireno extendido en los días 3, 7, 14, 21, y 28, los cuales arrojaron resultados positivos con crecimiento constante entre cada ensayo. Para el día 3 se evidencia un resultado de 19,17%, y para el quinto ensayo se puede reflejar un incremento del 10,06%, ya que el día 28 fue la quinta prueba llego a 29,23% como resultado final.

- **Ensayo de compresión de concreto con poliestireno al 10% en los días 3, 7, 14, 21 y 28.**

En la figura 11, se detallan los resultados del ensayo de compresión de concreto con poliestireno extendido al 10%:

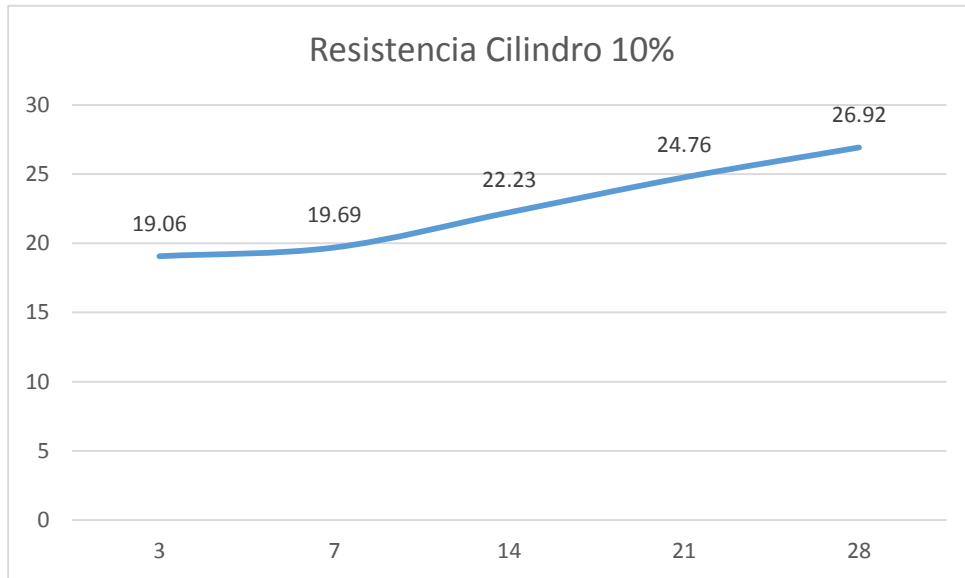


Figura 11. Resistencia cilindro 10% Icopor

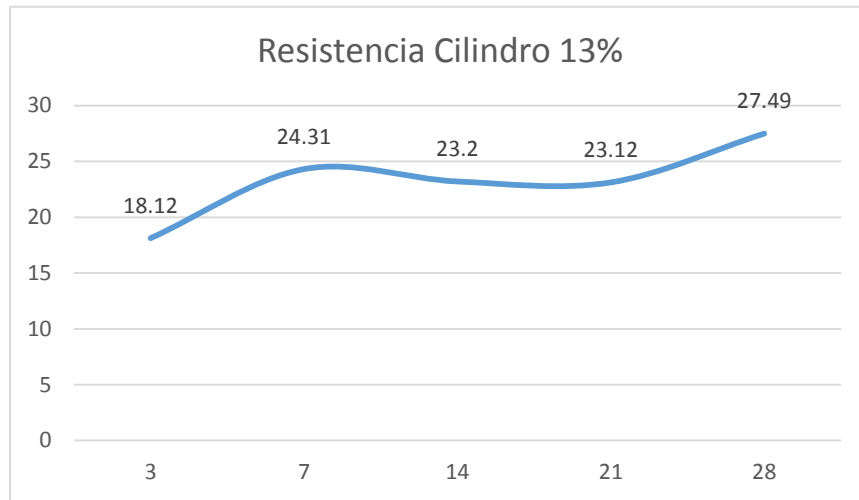
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la figura 10, los diferentes ensayos realizados de compresión de concreto con poliestireno extendido al 10%, lo cual muestra intervalos en crecimiento entre cada periodo estudiado, arrojando un resultado positivo entre el primer ensayo y el ultimo con un crecimiento de 7,86%.

- **Ensayo de compresión de concreto con poliestireno al 13% en los días 3, 7, 14, 21 y 28.**

En la figura 12, se detallan los resultados del ensayo de compresión de concreto con poliestireno expandido al 13%





*Figura 9.* Resistencia cilindro 13% Icopor  
Fuente Elaboración propia

Se observa en la figura 12, la resistencia del cilindro con 3% de poliestireno expandido, presenta una resistencia en el primer ensayo realizado el tercer día de 18,12%, con un comportamiento creciente para los siguientes intervalos, alcanzando en la quinta prueba para el día 28 un total de 27.49%, reflejando incremento porcentual de 9,37% entre el primer y quinto ensayo.

- **Ensayo de compresión de concreto con poliestireno al 15% en los días 3, 7, 14, 21 y 28.**

En la figura 13, se detallan los resultados del ensayo de compresión de concreto con poliestireno extendido al 15%:

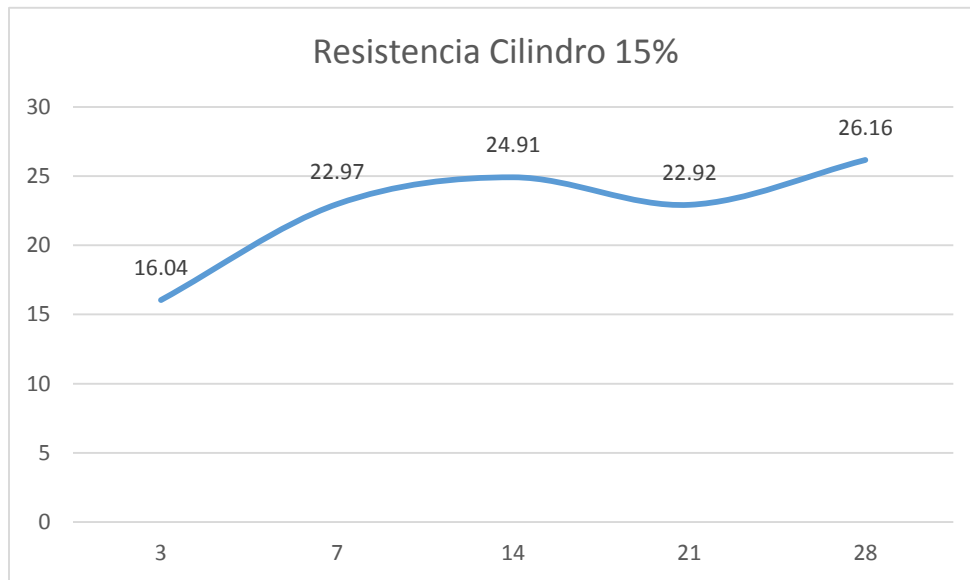


Figura 10. Resistencia cilindro 15% Icopor

Fuente Elaboración propia

Para la figura 13, se puede observar el comportamiento de los ensayos realizados en los días 3, 7, 14 y 21 con un 5% de poliestireno extendido, en la cual el primer ensayo presenta una resistencia de 16,04%, para el segundo ensayo su resultado fue de 23.97%, reflejando un crecimiento entre el primer ensayo y el segundo ensayo de 6,93%. Se observa en la figura que entre el tercer ensayo que dio un resultado de 24,91 y la cuarta prueba que tuvo un resultado final de 22,92%, lo cual generó un decrecimiento de 1,99%. Se concluye que para la quinta prueba su resultado es de 26,16% creando un cambio positivo en la gráfica de 3,94%.

## 8. Análisis de resultados

### - Análisis de varianzas

Para la realización de las evaluaciones de los análisis de las varianzas de las variables presentes, se usan las herramientas estadísticas ANOVA. El método de ANOVA el cual consiste en el Análisis de la Varianza puede contemplarse como un caso especial de la modelización econométrica, donde el conjunto de variables explicativas son variables ficticias y la variable dependiente es de tipo continuo. En la tabla 30 se observa el análisis de varianza para la resistencia por medio del método de suma de cuadrado tipo III:

**Tabla 30. Análisis de varianza para resistencia - Suma de cuadrados tipo III**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:% poliestireno expandido	772.659	6	128.776	49.85	0.0000
B:Días	480.921	4	120.23	46.54	0.0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	78.162	24	325.675	1.26	0.2843
RESIDUOS	645.806	25	258.322		
TOTAL (CORREGIDO)	1785.2	59			

*Nota:* Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Fuente: Elaboración propia

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de resistencia en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores.

Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 2 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre resistencia con un 95.0% de nivel de confianza.

Con este programa y con la función ANOVA Multifactorial se analiza partiendo de variables independientes (poliestireno expandido y D días) la influencia que tienen las mismas en la variable dependiente (resistencia), los cuales se generan mediante el “valor P”, quiere decir que los valores arrojados en rojo de las variables independientes al ser menores que 0.05 están afectando directamente la variable dependiente (Resistencia) cada uno por separado, sin embargo, al trabajar las dos variables independientes juntas no afectan la variable dependiente debido a que arroja un “valor P” mayor a 0.05.

En la figura 14, se puede apreciar los rangos de probabilidad en el cual puede variar la resistencia con respecto al porcentaje de poliestireno expandido:

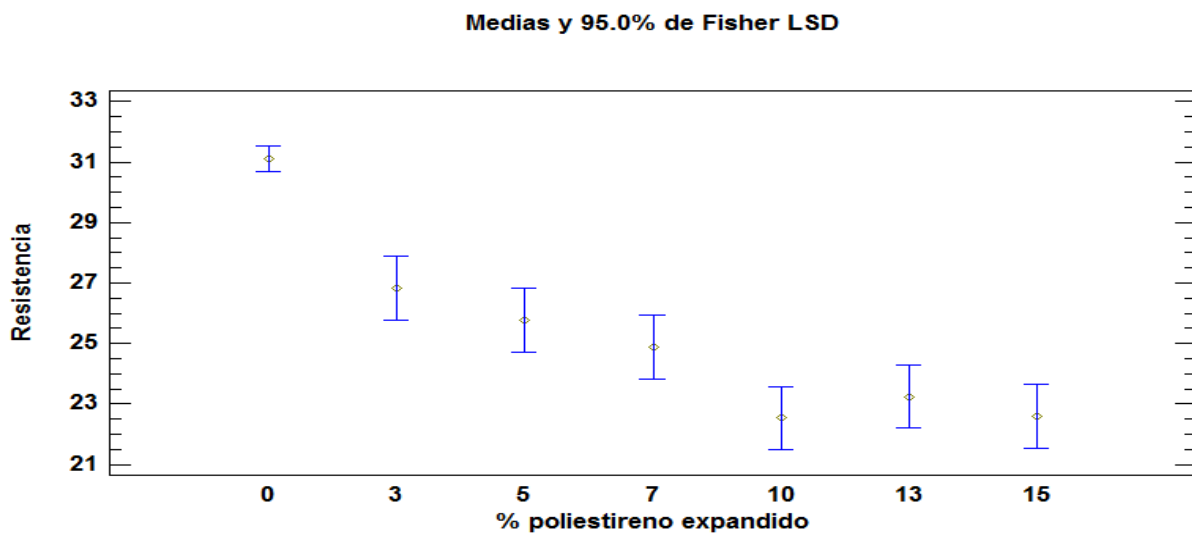


Figura 11. Rangos de probabilidad de resistencia con respecto al % de poliestireno expandido  
Fuente: Elaboración propia

- Análisis del porcentaje de decadencia a la resistencia

Posteriormente, con relación al porcentaje de decadencia del análisis de la resistencia se observa que los diseños más afectados son los que contienen un 10% y 15% de poliestireno expandido en la mezcla, dado que alcanzan un porcentaje de decadencia a la resistencia de 35.7%, seguido del 13% que alcanzo un total de 33,7%. En la tabla 31 se puede observar lo mencionado anteriormente:

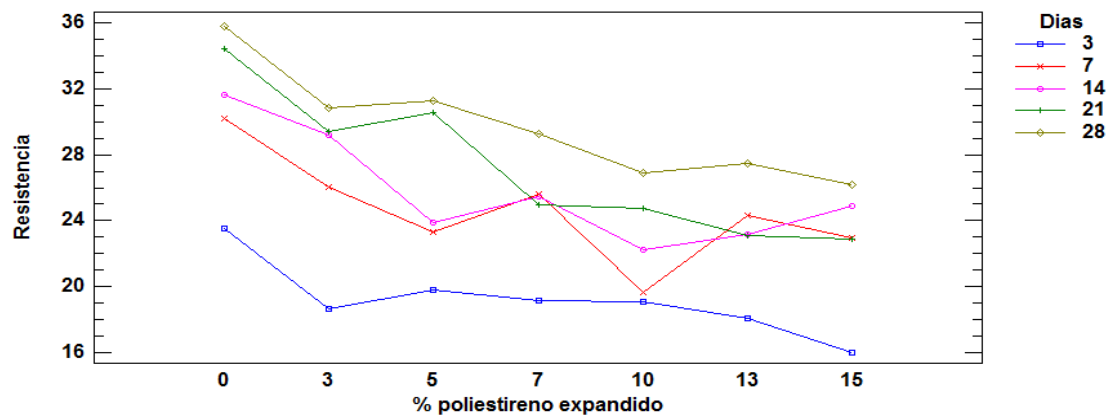
**Tabla 31. Porcentaje de decadencia a la resistencia**

% poliestireno expandido	Resistencia MPa	Resistencia diseño (MPa)	% resistencia final con respecto a resistencia de diseño	% decadencia con respecto a resistencia de diseño
0	31	35	88.6	11.4
3	27		77.1	22.9
5	25.7		73.4	26.6
7	25		71.4	28.6
10	22.5		64.3	35.7
13	23.2		66.3	33.7
15	22.5		64.3	35.7

Fuente: Elaboración propia

- Interacciones entre los ensayos

Continuando con la presentación de los resultados, en la figura 15, se procede a mostrar las interacciones que resultan entre los ensayos realizados.



**Figura 12.** Gráfico de Interacciones de los ensayos

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior, se puede apreciar que el comportamiento de la resistencia de los días 3 y 28 son similares, de lo cual, es posible afirmar que a medida que se va aumentando el porcentaje de poliestireno expandido la resistencia va disminuyendo, confirmando la hipótesis de que a mayor cantidad de poliestireno expandido mas decrece la resistencia con respecto a la de diseño.

#### - **Densidad**

De igual manera, se obtuvo como resultado una baja densidad para el día 28 y una curva decreciente en cuanto al peso de acuerdo al aumento del uso de icopor en el diseño, por lo cual se determina que a mayor uso de icopor, menor será la densidad del cilindro. En la figura 16, se observan gráficamente los resultados de este factor:

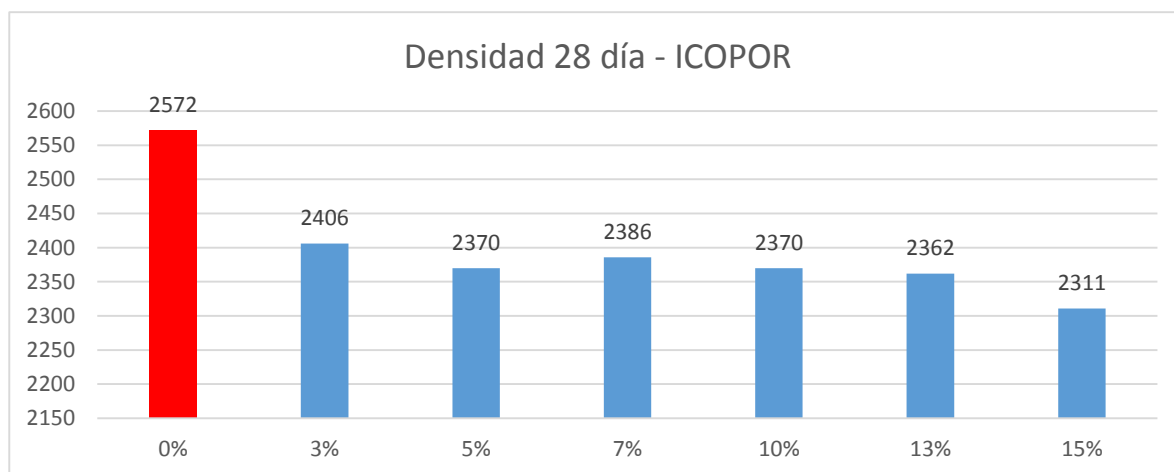


Figura 13. Curva Contra Peso vs % de icopor a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia

#### - **Procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher**

Con relación a los resultados de la diferencia mínima significativa entre variables, se aplicó el método de Fisher, el cual actualmente se usa para discriminar entre las medias, en la tabla 32 se observan los casos y los grupos que se determinan de acuerdo al análisis:

**Tabla 32. Procedimiento de diferencia mínima significativo - determinación de grupos**

<i>% poliestireno expandido</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
10	5	22.532	0.71878	X
15	5	22.6	0.71878	X
13	5	23.248	0.71878	XX
7	5	24.89	0.71878	XX
5	5	25.768	0.71878	X
3	5	26.828	0.71878	X
0	30	31.106	0.293441	X

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32, se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

A continuación, en la tabla 33, se observa el procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras:

**Tabla 33. Procedimiento de comparación múltiple – determinación de medias significativas**

<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencia</b>	<b>+/- Límites</b>
0 - 3	*	4.278	159.897
0 - 5	*	5.338	159.897
0 - 7	*	6.216	159.897
0 - 10	*	8.574	159.897
0 - 13	*	7.858	159.897
0 - 15	*	8.506	159.897
3 - 5		1.06	209.354
3 - 7		1.938	209.354
3 - 10	*	4.296	209.354
3 - 13	*	3.58	209.354
3 - 15	*	4.228	209.354
5 - 7		0.878	209.354

5 - 10	*		3.236	209.354
5 - 13	*	2.52		209.354
5 - 15	*		3.168	209.354
7 - 10	*		2.358	209.354
7 - 13			1.642	209.354
7 - 15	*	2.29		209.354
10 - 13		-0.716		209.354
10 - 15		-0.068		209.354
13 - 15		0.648		209.354

*Nota:* \* indica una diferencia significativa.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se observa que 14 pares de los 21, tienen el asterisco, el cual indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. Es decir, el 66,6% de los pares presentan diferencias.

- Pruebas de bondad-de-ajuste para RESIDUOS

Para las pruebas de bondad de ajuste para residuos, inicialmente se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, por medio de la cual se busca identificar el valor-P o valor total de los residuos generados: en la tabla 34 se detallan los resultados:

**Tabla 34. Prueba de Kolmogorov-Smirnov**

	<i>Normal</i>
<b>DMAS</b>	0.266664
<b>DMENOS</b>	0.243642
<b>DN</b>	0.266664
<b>Valor-P</b>	0.000393675

Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que la variable Residuos proviene de una distribución normal con 95% de confianza.



Seguido a esto, se muestran los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si la variable Residuos, puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. En la figura 17 se puede observar el ajuste de datos para la elaboración del histograma de los residuos:

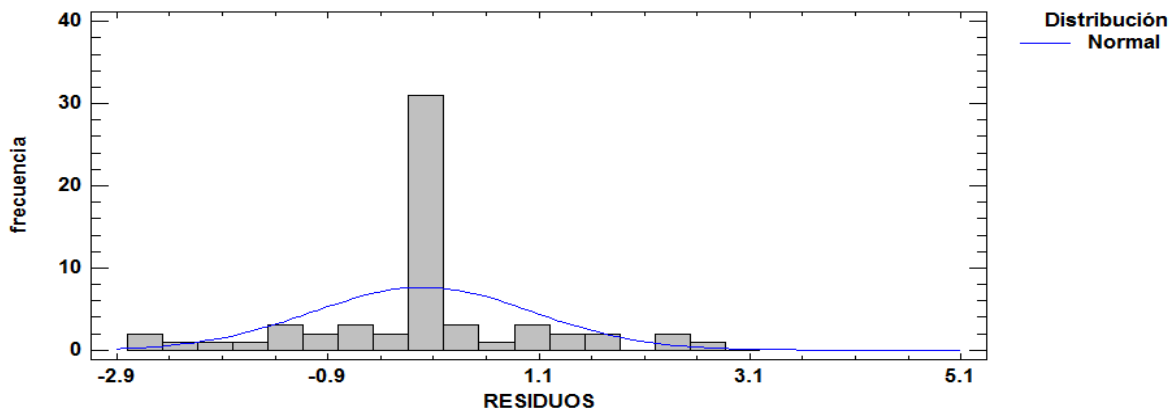


Figura 14. Histograma de los residuos.  
Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se realiza un análisis de la autocorrelación estimada para los residuos, en la figura 18 se observa la gráfica del comportamiento de la autocorrelación:

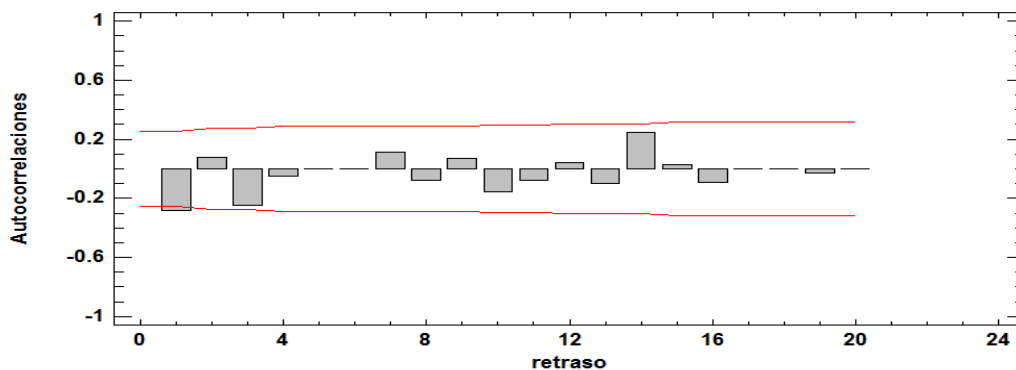


Figura 15. Autocorrelaciones estimadas para residuos  
Fuente: Elaboración propia

De la figura 18, se puede afirmar que cada cilindro es independiente, por lo cual los datos de cada uno de los cilindros son individuales y no tienen dependencia de otro cilindro.

- Comparación de modelos alternos

Una vez detallados los resultados que determinan la relación de las variables y demás datos estadísticos, se procede a realizar la comparación de los modelos alternos planteados, detallando el modelo y su grado de correlación para cada nivel de poliestireno a aplicar:

0%, 3%, 5%, 7%, 10%, 13% y 15%

- Para 0%:

En la tabla 35, se pueden evidenciar las diversas regresiones con las cuales se puede trabajar para un nivel de 0% de poliestireno extendido:

**Tabla 35. Correlación métodos de regresiones 0%**

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Doble Inverso	0.9375	87.88%
Curva S	-0.9344	87.31%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.9302	86.53%
Logaritmo de X	0.9290	86.30%
Cuadrado-Y Log-X	0.9289	86.28%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.9268	85.90%
Inversa de X	-0.9244	85.46%
Multiplicativa	0.9231	85.20%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.9137	83.49%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.9084	82.52%
Raíz Cuadrada de X	0.9050	81.91%
Raíz Cuadrada Doble	0.8985	80.74%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.8906	79.32%
Cuadrado de Y	0.8844	78.22%
Lineal	0.8681	75.36%
Raíz Cuadrada de Y	0.8579	73.60%
Exponencial	0.8465	71.65%
Inversa de Y	-0.8199	67.23%
Cuadrado Doble	0.8128	66.06%
Cuadrado de X	0.7866	61.88%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.7718	59.57%
Log-Y Cuadrado-X	0.7560	57.15%

Inversa-Y Cuadrado-X	-0.7217	52.09%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se evidencia que la más óptima en este caso es la regresión de Doble inverso porque tiene la mayor R cuadrada (87.88%), de la cual se obtiene la siguiente ecuación representada en la figura 19:

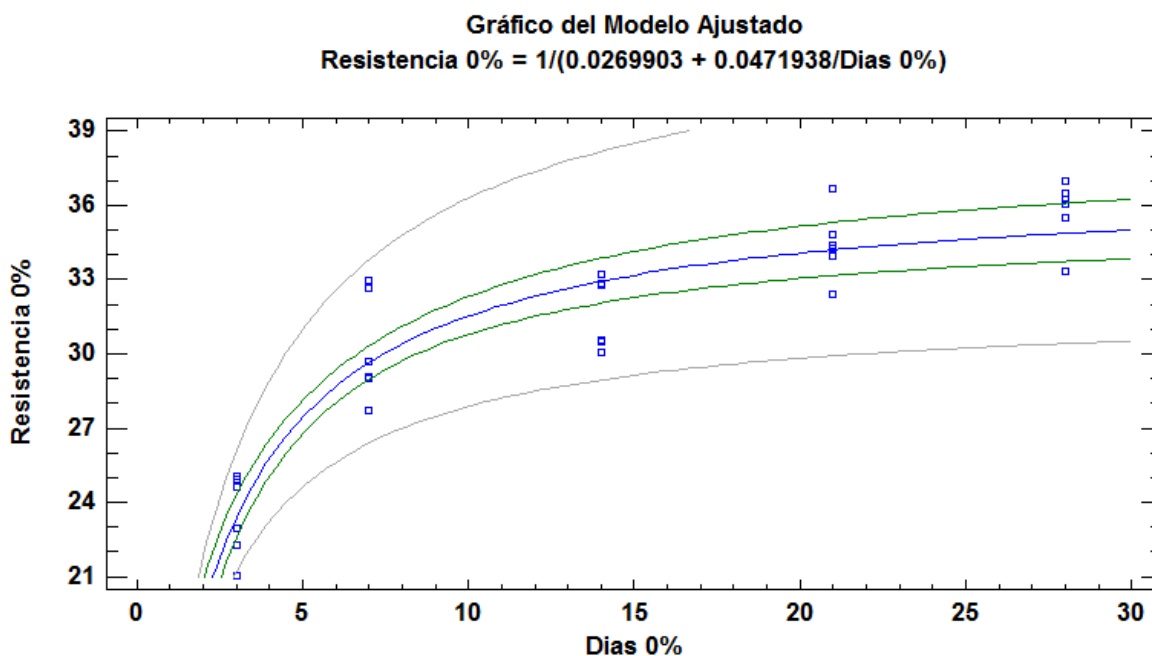


Figura 16. Grafico del modelo ajustado – Doble Inverso

Nota: (1) intervalos de previsión del 95.0% para las nuevas observaciones, Verde. (2) intervalos de confianza del 95.0% para la media de varias observaciones, gris

Fuente: Elaboración propia

- Para 3%:

En la tabla 36, se pueden evidenciar las diversas regresiones con las cuales se puede trabajar para un nivel de 3% de poliestireno extendido:

**Tabla 36. Correlación métodos de regresiones 3%**

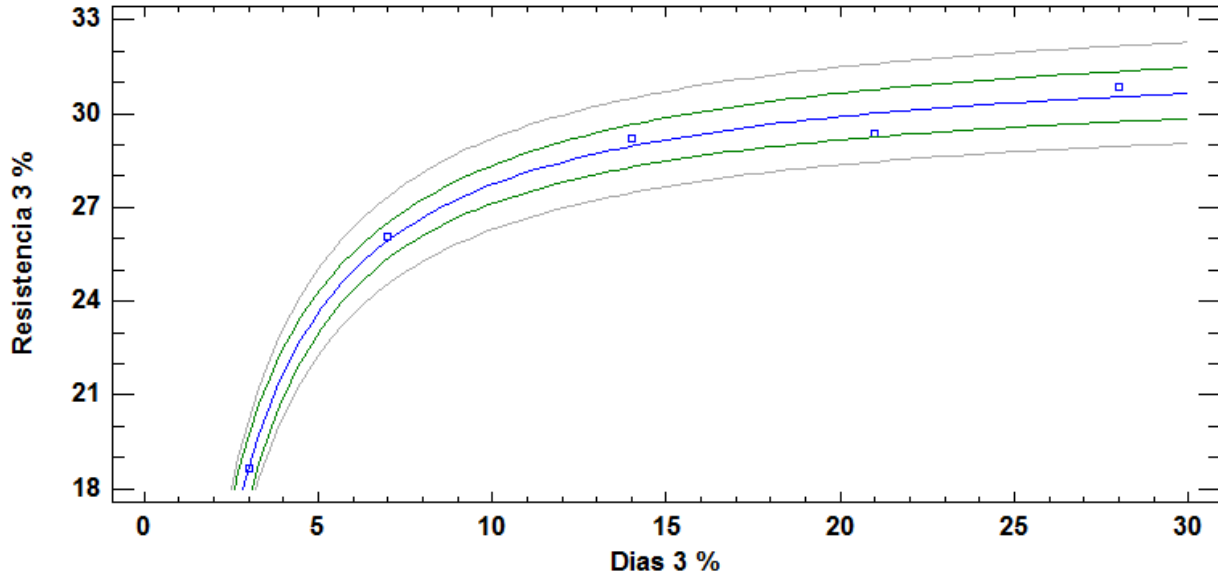
<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.9976	99.53%
Curva S	-0.9973	99.46%

Inversa de X	-0.9971	99.43%
Doble Inverso	0.9945	98.90%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.9933	98.67%
Cuadrado-Y Log-X	0.9745	94.96%
Logaritmo de X	0.9621	92.56%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.9548	91.17%
Multiplicativa	0.9470	89.69%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.9328	87.02%
Raíz Cuadrada de X	0.9125	83.27%
Raíz Cuadrada Doble	0.9016	81.28%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.8902	79.25%
Cuadrado de Y	0.8781	77.10%
Lineal	0.8515	72.50%
Raíz Cuadrada de Y	0.8376	70.16%
Exponencial	0.8236	67.83%
Inversa de Y	-0.7957	63.32%
Cuadrado Doble	0.7696	59.22%
Cuadrado de X	0.7360	54.16%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.7190	51.69%
Log-Y Cuadrado-X	0.7021	49.30%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.6694	44.81%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla anterior, la regresión más óptima para el 3% de poliestireno expandido es la Raíz Cuadrada-Y Inversa de X con un resultado de 99.53%, de la cual se obtiene la siguiente ecuación en la figura 20:

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Resistencia 3 % = (5.67103 - 4.04724/Dias 3 %)^2**



*Figura 17.* Gráfico del modelo ajustado – Raíz Cuadrada-Y Inversa de X  
*Nota:* (1) intervalos de previsión del 95.0% para las nuevas observaciones, verde. (2) intervalos de confianza del 95.0% para la media de varias observaciones, gris.  
 Fuente: Elaboración propia

- Para 5%:

En la tabla 37, se pueden evidenciar las diversas regresiones con las cuales se puede trabajar para un nivel de 5% de poliestireno extendido:

**Tabla 37. Correlación métodos de regresiones 5%**

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.9618	92.50%
Raíz Cuadrada Doble	0.9593	92.03%
Lineal	0.9592	92.00%
Raíz Cuadrada de Y	0.9585	91.86%
Cuadrado de Y	0.9584	91.86%
Exponencial	0.9569	91.56%
Raíz Cuadrada de X	0.9562	91.43%

Inversa de Y	-0.9507	90.39%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.9482	89.91%
Multiplicativa	0.9468	89.63%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.9398	88.32%
Cuadrado Doble	0.9331	87.08%
Logaritmo de X	0.9323	86.91%
Cuadrado de X	0.9240	85.38%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.9181	84.30%
Cuadrado-Y Log-X	0.9163	83.96%
Log-Y Cuadrado-X	0.9113	83.04%
Doble Inverso	0.8976	80.57%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.8943	79.97%
Curva S	-0.8690	75.52%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.8541	72.95%
Inversa de X	-0.8391	70.41%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.8095	65.52%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla anterior, la regresión más óptima para el 5% de poliestireno expandido es la logarítmico y Raíz cuadrada X con un resultado de 92.5%, de la cual se tiene el siguiente comportamiento y ecuación, graficado en la figura 21:

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Resistencia 5 % =  $\exp(2.76968 + 0.129119 \cdot \sqrt{\text{Dias 5 \%}})$**

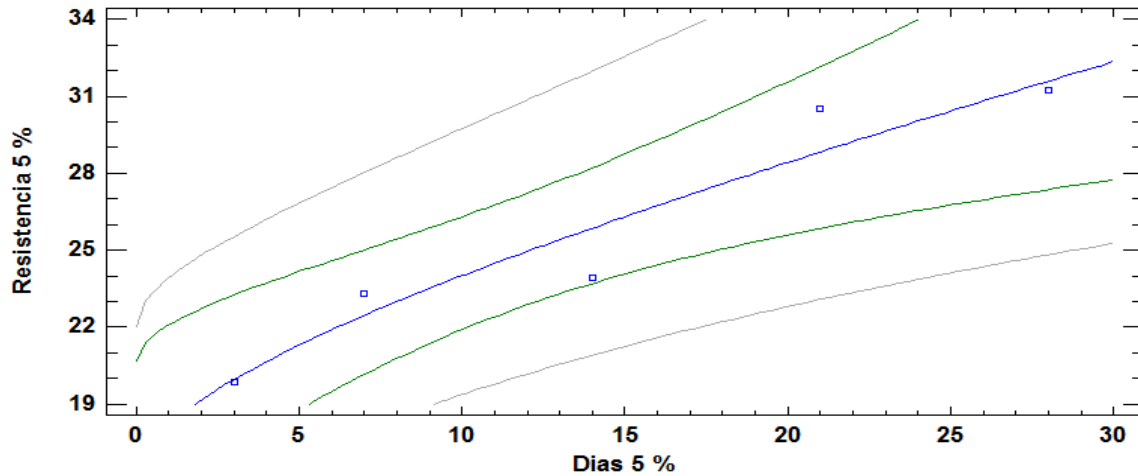


Figura 18. Gráfico del modelo ajustado – logarítmico y Raíz cuadrada X

Nota: (1) intervalos de previsión del 95.0% para las nuevas observaciones, verde. (2) intervalos de confianza del 95.0% para la media de varias observaciones, gris.

Fuente: Elaboración propia

- Para 7%

En la tabla 38, se pueden evidenciar las diversas regresiones con las cuales se puede trabajar para un nivel de 7% de poliestireno extendido:

**Tabla 38. Correlación métodos de regresiones 7%**

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Doble Inverso	0.9319	86.84%
Curva S	-0.9185	84.36%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.9098	82.77%
Inversa de X	-0.8997	80.95%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.8755	76.65%
Multiplicativa	0.8735	76.30%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.8725	76.13%
Logaritmo de X	0.8705	75.78%
Cuadrado-Y Log-X	0.8631	74.50%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.8442	71.26%
Raíz Cuadrada de X	0.8412	70.75%
Raíz Cuadrada Doble	0.8382	70.25%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.8344	69.62%
Cuadrado de Y	0.8224	67.63%
Lineal	0.8095	65.52%
Raíz Cuadrada de Y	0.8018	64.28%

Exponencial	0.7934	62.95%
Cuadrado Doble	0.7880	62.09%
Inversa de Y	-0.7755	60.13%
Cuadrado de X	0.7599	57.75%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.7450	55.50%
Log-Y Cuadrado-X	0.7297	53.25%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.6989	48.84%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 38, se evidencia que para 7% de poliestireno expandido el método de regresión más óptimo es Doble inverso con un total de 86.84%. En la figura 22, se observa gráficamente la ecuación y el comportamiento de los intervalos:

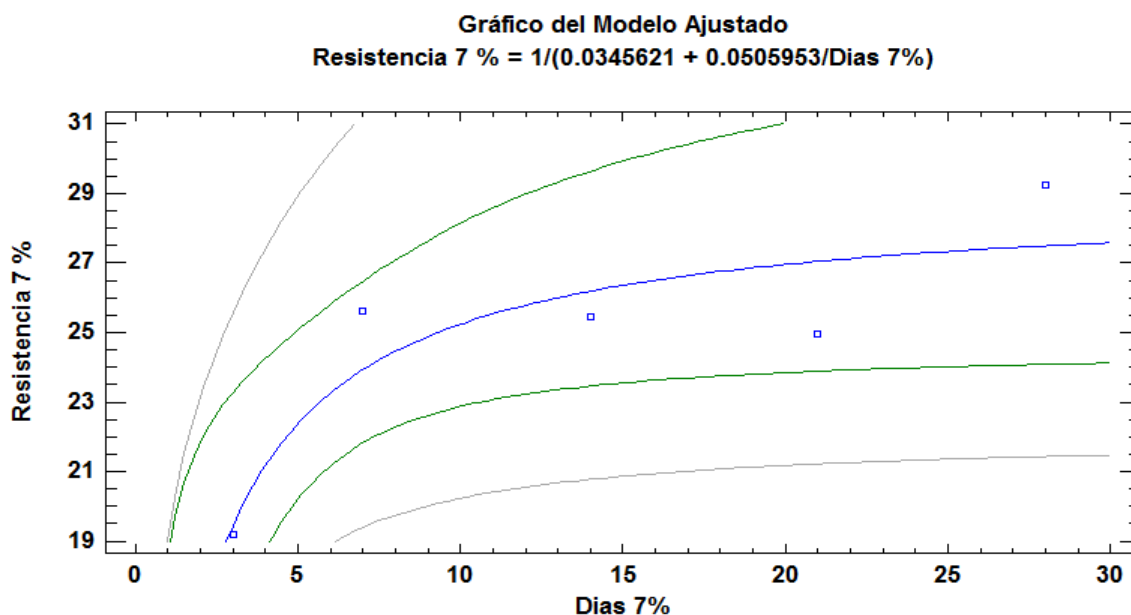


Figura 19. Gráfico del modelo ajustado – Doble inverso

Nota: (1) intervalos de predicción del 95.0% para las nuevas observaciones, verde. (2) intervalos de confianza del 95.0% para la media de varias observaciones, gris.

Fuente: Elaboración propia

- Para 10%:

En la tabla 39, se pueden evidenciar las diversas regresiones con las cuales se puede trabajar para un nivel de 10% de poliestireno extendido:



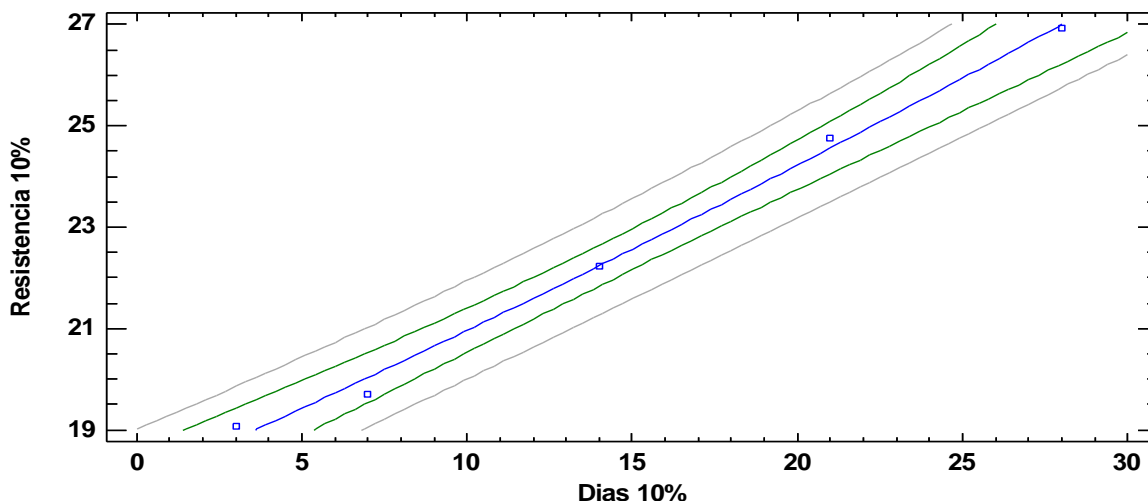
**Tabla 39. Correlación métodos de regresiones 10%**

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Raíz Cuadrada de Y	0.9973	99.45%
Lineal	0.9971	99.41%
Exponencial	0.9970	99.40%
Cuadrado de Y	0.9953	99.06%
Inversa de Y	-0.9951	99.02%
Cuadrado Doble	0.9873	97.47%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.9860	97.21%
Raíz Cuadrada Doble	0.9833	96.70%
Raíz Cuadrada de X	0.9803	96.09%
Cuadrado de X	0.9793	95.90%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.9746	94.98%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.9728	94.63%
Log-Y Cuadrado-X	0.9694	93.98%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.9580	91.78%
Multiplicativa	0.9497	90.20%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.9443	89.18%
Logaritmo de X	0.9385	88.09%
Cuadrado-Y Log-X	0.9258	85.70%
Doble Inverso	0.8417	70.85%
Curva S	-0.8245	67.98%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.8154	66.49%
Inversa de X	-0.8060	64.96%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.7864	61.85%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 39, se evidencia que para 10% de poliestireno expandido el método de regresión más óptimo es Raíz cuadrada de Y con un total de 99,45%. En la figura 23, se observa gráficamente la ecuación y el comportamiento de los intervalos:

**Gráfico del Modelo Ajustado**  
**Resistencia 10% = (4.2356 + 0.0343067\*Dias 10%)^2**



*Figura 20.* Gráfico del modelo ajustado – Raíz cuadrada de Y  
 Nota: (1) intervalos de previsión del 95.0% para las nuevas observaciones, verde. (2) intervalos de confianza del 95.0% para la media de varias observaciones, gris.  
 Fuente: Elaboración propia

**- Para 13%**

En la tabla 40, se pueden evidenciar las diversas regresiones con las cuales se puede trabajar para un nivel de 13% de poliestireno extendido:

**Tabla 40. Correlación métodos de regresiones 13%**

<i>Modelo</i>	<i>Correlación</i>	<i>R-Cuadrada</i>
Doble Inverso	0.8981	80.65%
Curva S	-0.8784	77.15%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.8666	75.10%
Inversa de X	-0.8535	72.85%
Multiplicativa	0.8373	70.11%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.8333	69.44%
Logaritmo de X	0.8284	68.62%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.8238	67.87%
Cuadrado-Y Log-X	0.8154	66.49%
Raíz Cuadrada de X	0.8063	65.02%
Raíz Cuadrada Doble	0.8061	64.98%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.8051	64.82%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.8040	64.65%
Cuadrado de Y	0.7922	62.76%

Lineal	0.7843	61.51%
Raíz Cuadrada de Y	0.7791	60.70%
Cuadrado Doble	0.7780	60.54%
Exponencial	0.7733	59.79%
Inversa de Y	-0.7599	57.74%
Cuadrado de X	0.7543	56.90%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.7414	54.96%
Log-Y Cuadrado-X	0.7279	52.98%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.7002	49.02%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 40, la regresión más óptima para el 13% de poliestireno expandido es la Doble Inverso con un resultado de 80,65%, la cual se observa en la figura 24:

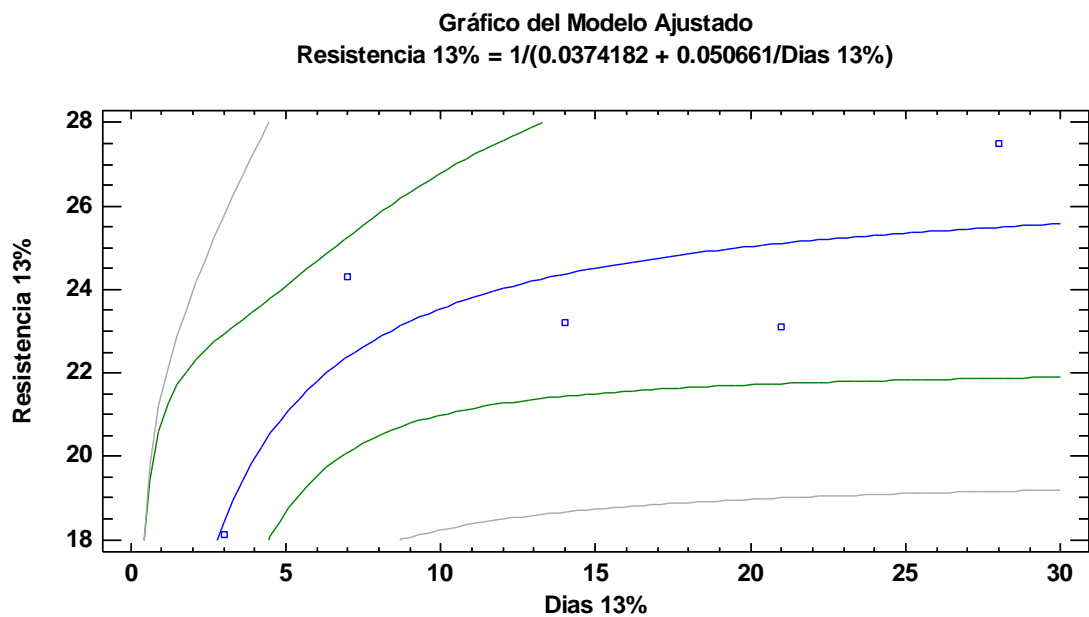


Figura 21. Gráfico del modelo ajustado – Doble inverso

Nota: (1) intervalos de previsión del 95.0% para las nuevas observaciones, verde. (2) intervalos de confianza del 95.0% para la media de varias observaciones, gris.

Fuente: Elaboración propia

- Para 15%

En la tabla 41, se pueden evidenciar las diversas regresiones con las cuales se puede trabajar para un nivel de 15% de poliestireno extendido:

**Tabla 41. Correlación métodos de regresiones 15%**

<b>Modelo</b>	<b>Correlación</b>	<b>R-Cuadrada</b>
<b>Doble Inverso</b>	0.9589	91.95%
<b>Curva S</b>	-0.9554	91.28%
<b>Raíz Cuadrada-Y Inversa de X</b>	-0.9523	90.69%
<b>Inversa de X</b>	-0.9482	89.91%
<b>Cuadrado-Y Inversa de X</b>	-0.9365	87.70%
<b>Cuadrado-Y Log-X</b>	0.8847	78.26%
<b>Logaritmo de X</b>	0.8832	78.00%
<b>Raíz Cuadrada-Y Log-X</b>	0.8812	77.66%
<b>Multiplicativa</b>	0.8786	77.20%
<b>Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X</b>	0.8346	69.66%
<b>Raíz Cuadrada de X</b>	0.8258	68.19%
<b>Raíz Cuadrada Doble</b>	0.8205	67.32%
<b>Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X</b>	0.8148	66.38%
<b>Cuadrado de Y</b>	0.7799	60.82%
<b>Lineal</b>	0.7645	58.44%
<b>Raíz Cuadrada de Y</b>	0.7562	57.18%
<b>Exponencial</b>	0.7477	55.90%
<b>Inversa de Y</b>	-0.7306	53.38%
<b>Cuadrado Doble</b>	0.6902	47.63%
<b>Cuadrado de X</b>	0.6651	44.23%
<b>Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X</b>	0.6524	42.56%
<b>Log-Y Cuadrado-X</b>	0.6398	40.94%
<b>Inversa-Y Cuadrado-X</b>	-0.6157	37.91%
<b>Inversa-Y Raíz Cuadrada-X</b>	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 41, se evidencia que para 15% de poliestireno expandido el método de regresión más óptimo es Doble inverso con un total de 91,95%. En la figura 25, se observa gráficamente la ecuación y el comportamiento de los intervalos:

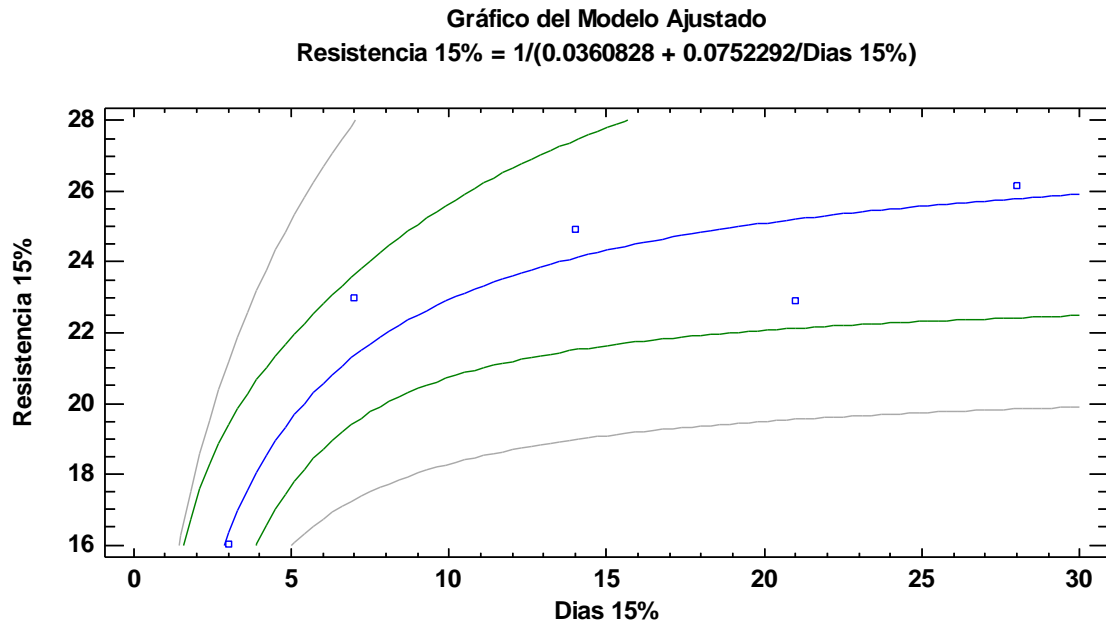


Figura 22. Gráfico del modelo ajustado – Doble inverso

Nota: (1) intervalos de predicción del 95.0% para las nuevas observaciones, verde. (2) intervalos de confianza del 95.0% para la media de varias observaciones, gris.

Fuente: Elaboración propia

## 9. Conclusiones

Después de realizado el estudio, es posible concluir que se presenta una variación del módulo de elasticidad con respecto a las proporciones de uso de poliestireno expandido en la mezcla. De igual forma, con relación al porcentaje de decadencia del análisis de la resistencia se concluye que los diseños más afectados son los que contienen una mezcla por encima del 10%, mostrando la siguiente relación: A mayor cantidad de poliestireno expandido agregado en la mezcla, la resistencia va disminuyendo, confirmando la hipótesis de que a mayor cantidad de poliestireno expandido más decrece la resistencia con respecto a la de diseño.

Se puede concluir que después de realizar 30 ensayos de compresión de concreto utilizando diferentes porcentajes de poliestireno extendido en relación al peso de mezcla de 3%, 5%, 7%, 10%, 13% y 15%, sobre una mezcla de concreto de resistencia media (3000 PSI), para 5 momentos de curado a los 3, 7, 14, 21 y 28 días, se logra una resistencia mayor con un 5% de poliestireno en la resistencia del cilindro, ya que para el día 28 en su quinto ensayo llega a 31,24% de resistencia total, creando un beneficio en la mezcla de concreto. Así mismo, se pudo evidenciar que con 15% de poliestireno en la mezcla, arroja como resultado final el porcentaje más bajo en los ensayos con un 26,16% de resistencia en los cilindros.

Por su parte, cada cilindro al cual se le realiza un proceso de ensayo no presenta una variación significativa en sus pesos, ya que el agregado de poliestireno se realiza por porcentaje de volumen de los cilindros y no por dimensión en peso. Es por esto, que toda si se hace por peso va a generar una desproporción en cuanto a cantidad del poliestireno a agregar al diseño de mezcla con respecto a los materiales principales de la mezcla.

## **10. Recomendaciones**

Se recomienda que para las futuras pruebas se utilice una maquina universal de ensayos, por medio de la cual se logra generar y obtener valores de deformación y carga aplicada, para poder elaborar las curvas de deformación unitaria vs esfuerzo aplicado, lo que permite y conlleva a determinar valores como esfuerzo de fluencia, módulo elástico, valores que influyen de manera directa en el comportamiento de las mezclas.

Se propone que, para la obtención de mejores resultados en los procesos, no se debe realizar manualmente la mezcla, es importante emplear y contar con una maquina mezcladora, ya que de esta manera se asegura la homogeneidad de la mezcla de concreto.

## Referencias

- Anape, (2014). El EPS en la ingeniería Civil. Recuperado de [http://www.construccioneps.com/descargas/ingenieria\\_civil/guia\\_de\\_ingenier%C3%A1civil.v3.pdf](http://www.construccioneps.com/descargas/ingenieria_civil/guia_de_ingenier%C3%A1civil.v3.pdf)
- Gil, A.M y Rivera, P.A. (2015). Análisis Del Concreto Con Poliestireno Expandido Como Aditivo Para Aligerar Elementos Estructurales. Universidad Libre Seccional Pereira.
- Hernández, H y Sánchez, H, (2015). Comportamiento mecánico de una mezcla para concreto usando neumáticos triturados como reemplazo del 15%,25% y 35% del volumen del agregado fino para un concreto con fines de uso estructural. (Trabajo de Grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Civil, Bogotá DC: Universidad Católica De Colombia). Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2937/4/TRABAJO%20DE%20GRADO%20COMPORTAMIENTO%20MEC%C3%81NICO%20DE%20UNA%20MEZCLA%20PARA%20CONCRETO%20.pdf>
- Icoformas Ltda. (2014). Icoformas. Recuperado de: <http://www.icoformas.com/>
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (diciembre, 2013.). Posibilidades del Concreto. construcción y tecnología del concreto. Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/999/TESISCLP%20PUBLICA%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Montejo, A, Montejo, F, Y Montejo, A. (2013). Tecnología y patología del concreto armado. Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C. Ediciones.



Murillo, J. (S.f). MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN DE ENFOQUE EXPERIMENTAL.

(En línea). Universidad Nacional de Educacion Enrique Guzman y Valle.

Recuperado de: <http://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>

Peña, J y Moncaleano, L (2016). Concreto hidráulico modificado con poliestireno

expandido (Icopor). (Proyecto de grado para optar por el título de: ingeniero civil, universidad piloto de Colombia). Recuperado de

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5664/CONCRETO%20HIDRAULICO%20MODIFICADO%20CON%20POLIESTIRENO%20EXPANDIDO%20%28ICOPOR%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PERIODICO EJE 21. (Sf) Más de 30 fallas geológicas cruzan por Risaralda. [En línea].

Recuperado de: <Http://www.eje21.com.co/2013/01/mas-de-30-fallas-geologicas-cruzan-por-risaralda/>.

Rengifo, D. (2015). Estudio De Granulometria Y Resistencia A La Abrasión Del Agregado

Grueso. Universidad Científica Del Perú. Universidad Científica Del Perú.

Tarapoto. Recuperado de: <https://www.studocu.com/es/document/universidad-europea-de-madrid/tecnologia-de-materiales/ejercicios-obligatorios/ensayo-granulometrico-del-agregado-grueso/2456933/view>

Sampieri, R.H., Collado, C.F. y Baptista, M. (2014). Metodología de la Investigación.

McGRAW-HILL . Interamericana Editores, S.A. de C.V

Tejada, A. J. y Valencia, P. A. (2017). Diseño de mezcla de concreto hidráulico con

residuos industriales (limalla) como aditivo para aligerar el peso de elementos

estructurales y mejorar su resistencia a la compresión. UNIVERSIDAD LIBRE  
SECCIONAL PEREIRA

Valdivia. (2010) Caracterización y evaluación del comportamiento de hormigones livianos, usando como materia prima poliestireno expandido modificado (MEPS). (Tesis para optar al Título de: Ingeniero Civil en Obras Civiles, Universidad Austral de Chile).

Recuperado de

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfciv648c/doc/bmfciv648c.pdf>