

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA CIVIL



DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS
DE UN HORMIGÓN ALIVIANADO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO CON
RELACION A UN HORMIGÓN DE PESO NORMAL”**

AUTORES

GUSTAVO ADOLFO VILLARREAL GARCÍA

EDWIN ALEXANDER TORO TIPÁN

DIRECTOR: ING. LAURO A. LARA CARRERA

QUITO, 2019

DEDICATORIA

A mis padres, Adolfo Villarreal y Judith García, quienes me dieron todo su apoyo y confianza, alentándome a seguir adelante y nunca desfallecer.

A mi querida hermana, por su amor y apoyo incondicional, que siempre estuvieron presentes cuando más los necesitaba.

A mi hija Alice, por ser mi motor e inspiración para lograr esta meta.

Gustavo Adolfo Villarreal García.

A mis amados padres, Ernesto Toro y Mercedes Tipán, que son las personas más importantes en mi vida, que siempre estuvieron brindando su apoyo en cada paso de mi vida y son mi ejemplo de constancia, perseverancia, sabiduría y amor.

A mis hermanas Jeniffer y Doménica Toro con quienes he crecido y compartido momentos grandiosos y su amor y paciencia que me han enseñado a salir adelante.

A mi núcleo familiar abuelitos, tíos, primos, que desean lo mejor para mí que han estado conmigo desde pequeño y siempre se sintieron orgullosos de quien soy.

A mis amigos y compañeros que estuvieron en mi vida académica y social.

EDWIN ALEXANDER TORO TIPÁN

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, y guiarme por el camino correcto.

Agradezco mi director de tesis, Ing. Lauro A. Lara Carrera por su guía, consejos y paciencia durante al dirigir esta tesis.

A mis correctores, Ing. Paúl Enríquez y Ing. Carlos Celi por su colaboración he interés para la culminación de este proyecto.

Por último y no menos importante, a mis amigos, con los que he aprendido grandes lecciones he historias que convirtieron a este camino en una gran aventura.

Gustavo Adolfo Villarreal García.

A Dios y a la Virgen María por regalarme una maravillosa familia, y guiar mis pasos permitiéndome finalizar una de mis metas.

Agradezco mi director de tesis, Ing. Lauro A. Lara Carrera por su guía y consejos durante mi etapa universitaria y al momento de dirigir mi tesis.

A mis correctores, Ing. Paúl Enríquez y Ing. Carlos Celi por su colaboración he interés para que el trabajo de disertación se realice de la mejor manera.

A mi compañero de tesis Gustavo Villareal con quien he trabajado en el proyecto y he compartido una amistad sincera.

EDWIN ALEXANDER TORO TIPÁN

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como fin determinar la influencia que tendrá las perlas de poliestireno expandido en el hormigón a una edad de 28 días. Las propiedades a evaluar son densidad, resistencia a la compresión, tracción y módulo de elasticidad, debido a que dichas propiedades son las más características al momento de diseñar o construir obras civiles.

En la investigación se diseñó dos tipos de hormigones tradicionales con diferentes resistencias a la compresión, posteriormente se reemplazó diferentes porcentajes de agregado fino por perlas de poliestireno expandido.

En cada una de las dosificaciones se fabricaron 5 cilindros para el ensayo de compresión y módulo de elasticidad, 5 para el ensayo de tracción (Ensayo Brasileiro) y 3 briquetas para el ensayo de flexión en vigas, completando un total de 100 cilindros y 30 briquetas. Los ensayos fueron realizados a los 28 días de su fabricación.

Y, por último, con este trabajo se pretende dar una base para futuras investigaciones sobre el uso apropiado de estos materiales, aprovechando sus principales ventajas, características técnicas, costo y la protección del medio ambiente.

ABSTRACT

The purpose of this titration work is to determine the influence of expanded polystyrene pearls on concrete at an age of 28 days. The properties to be evaluated are density, compressive strength, tensile and elastic modulus, because these properties are the most characteristic when designing or building civil works.

In the investigation, two types of traditional concretes with different compressive strengths were designed, then different percentages of fine aggregate were replaced by expanded polystyrene beads.

In each of the dosages, 5 cylinders were manufactured for the compression test and modulus of elasticity, 5 for the tensile test (Brazilian Test) and 3 briquettes for the bending test on beams, completing a total of 100 cylinders and 30 briquettes. The tests were performed 28 days after its manufacture.

And finally, this work is intended to provide a basis for future research on the appropriate use of these materials, taking advantage of their main advantages, technical characteristics, cost and environmental protection.

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS	IX
INDICE DE IMAGENES	XI
INDICE DE GRAFICAS	XII
CAPITULO I	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. Justificación.....	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	4
1.3. Antecedentes	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos Específicos.....	6
1.5. Alcance.....	6
1.6 Hipótesis	6
CAPITULO II.....	7
2. MARCO TEORICO.....	7
2.1 Áridos.....	7
2.1.1 Propiedades de los Áridos.....	8
2.1.1.1 Absorción.....	8
2.1.1.2 Granulometría	8
2.1.1.3 Material que pasa el Tamiz #200.....	10
2.1.1.4 Modulo de Finura.....	10
2.1.1.5 Densidad y Gravedad Específica	11
2.1.1.6 Porosidad	12
2.1.1.7 Peso Unitario Volumétrico	12
2.1.1.8 Abrasión.....	12

2.1.1.9 Durabilidad al Desgaste de Sulfatos	13
2.2.1.10 Contenido Orgánico.....	13
2.2 Cemento.....	14
2.2.1. Consistencia Normal del Cemento	16
2.2.2. Finura	16
2.2.3 Tiempo de Fraguado	16
2.2.4 Expansión.....	17
2.2.5 Resistencia a la Compresión de Morteros en Cemento	17
2.3. Poliestireno Expandido	18
2.3.1. Proceso de Fabricación del Poliestireno Expandido.....	18
2.3.2 Resistencia Mecánica.....	20
2.3.3. Aislamiento Térmico	20
2.3.4 Comportamiento en el agua	21
2.4 Hormigón	21
2.4.1. Trabajabilidad	22
2.4.2. Lechosidad	22
2.4.3. Durabilidad	23
2.4.4. Permeabilidad	23
2.4.5. Resistencia a la compresión.....	23
2.5 Hormigón Ligero	24
2.5.1 Propiedades de los Hormigones Ligeros	24
2.5.1.1 Resistencia a la Compresión (f^c) y Densidad.....	24
2.5.1.2 Resistencia a la Tracción y Modulo de Rotura	28
2.5.1.3 Módulo de Elasticidad	28
2.5.2 Ventajas de los Hormigones Ligeros	29
2.5.3 Hormigón con Poliestireno Expandido.....	29

CAPITULO III.....	30
3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.1 Dosificación del Hormigón de Peso Normal	31
3.1.1 Dosificación para un hormigón de peso normal $f'c = 240\text{kg/cm}^2$ y $f'c = 280\text{kg/cm}^2$	35
3.2 Dosificación del Hormigón con Poliestireno Expandido	36
3.3 Compresión del Hormigón.....	39
3.4 Tracción por Flexión en Vigas.....	40
3.5 Tracción en Cilindros (Método Brasileño)	41
CAPITULO IV	44
4. CALCULOS Y RESULTADOS.....	44
4.1 Ensayos de Áridos	44
4.1.1. Granulometría (INEN 696).....	44
4.1.2 Material Natural que pasa el Tamiz N°200 (NTE INEN 697)	46
4.1.3. Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (NTE INEN 856-857).....	46
4.1.4 Peso Unitario (NTE INEN 858).....	47
4.1.5 Equivalente de Arena (AASHTO T 176)	47
4.1.6 Contenido Orgánico (NTE INEN 855).....	47
4.1.7 Terrones de Arcilla (NTE INEN 698)	47
4.1.8 Abrasión del Agregado Grueso (NTE INEN 860).....	48
4.2 Ensayos de Cementos	49
4.2.1 Consistencia Normal del Cemento (NTE INEN 157)	49
4.2.2. Tiempo de Fraguado (NTE INEN 158)	49
4.2.3 Finura Blaine (NTE INEN 196).....	49
4.2.4 Gravedad Específica (NTE INEN 156)	50
4.2.5 Resistencia a la Compresión de Morteros (NTE INEN 488).....	50

4.3 Ensayos del Hormigón.....	51
Capítulo V.....	111
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
5.1. Conclusiones.....	111
5.2. Comentarios	113
5.3. Recomendaciones	114
LISTA DE REFERENCIAS	115
ANEXOS	119

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Módulo Granulométrico de Áridos que siguen la parábola de Fuller	10
Tabla 2. 2 Influencia de las Propiedades de los Agregados en el Hormigón	14
Tabla 2. 3 Consistencia vs Asentamiento	22
Tabla 2. 4 Límites para $f'c$	25
Tabla 3. 1 Porcentajes de Poliestireno Expandido	30
Tabla 3. 2 Asentamientos recomendados	31
Tabla 3. 3 Relación Agua/Cemento y Resistencia a la Compresión	32
Tabla 3. 4 Dosificación $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$	35
Tabla 3. 5 Dosificación $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$	35
Tabla 3. 6 Dosificación $f'c = 240-20 \text{ Kg/cm}^2$	37
Tabla 3. 7 Dosificación $f'c = 280-20 \text{ Kg/cm}^2$	37
Tabla 3. 8 Dosificación $f'c = 240-30 \text{ Kg/cm}^2$	38
Tabla 3. 9 Dosificación $f'c = 280-30 \text{ Kg/cm}^2$	38
Tabla 3. 10 Dosificación $f'c = 240-40 \text{ Kg/cm}^2$	38
Tabla 3. 11 Dosificación $f'c = 280-40 \text{ Kg/cm}^2$	38
Tabla 3. 12 Dosificación $f'c = 240-50 \text{ Kg/cm}^2$	39
Tabla 3. 13 Dosificación $f'c = 240-50 \text{ Kg/cm}^2$	39
Tabla 4. 1 Granulometría del Agregado Grueso	44
Tabla 4. 2 Granulometría del Agregado Grueso	45
Tabla 4. 3 Material Fino que pasa el Tamiz N° 200.	46
Tabla 4. 4 Gravedad Específica y Absorción Del Agregado Fino	46
Tabla 4. 5 Gravedad Específica y Absorción Del Agregado Grueso	46
Tabla 4. 6 Peso Unitario de los Agregados	47
Tabla 4. 7 Equivalente de Arena	47
Tabla 4. 8 Contenido Orgánico	47
Tabla 4. 9 Terrones de Arcilla en Agregado Grueso.	47
Tabla 4. 10 Abrasión del Agregado Grueso	48
Tabla 4. 11 Durabilidad al Acción de los Sulfatos del Agregado Grueso	48
Tabla 4. 12 Durabilidad al Acción de los Sulfatos del Agregado Grueso	48
Tabla 4. 13 Consistencia Normal del Cemento Holcim	49
Tabla 4. 14 Tiempo de Fraguado	49

Tabla 4. 15 Módulo de Finura del Cemento Holcim	49
Tabla 4. 16 Gravedad Específica del Cemento	50
Tabla 4. 17 Resistencia a la Compresión de Morteros en Cemento	50

INDICE DE IMAGENES

Imagen 2.1 Cantera Pifo	7
Imagen 2.2 Parábola de Fuller	9
Imagen 2.3 Cemento Holcim Fuerte Tipo GU	155
Imagen 2.4 Proceso de Transformación del Poliestireno Expandido	199
Imagen 2.5 Planchas de Poliestireno Expandido	20
Imagen 2.6 Cilindro de Hormigón	21
Imagen 2.7 Piedra Pómez	26
Imagen 2.8 Cenizas Volcánicas	26
Imagen 2.9 Arcilla Expandida	27
Imagen 2.10 Vermiculita	27
Imagen 2.11 Hormigón sin Finos	27
Imagen 2.12 Hormigón Aireado.	28
Imagen 3. 1 Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado.....	33
Imagen 3. 2 Tipos de falla en ensayo de compresión simple.....	40
Imagen 3. 3 Longitudes de aplicación de carga en el ensayo según la metodología indicada.....	41

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 4. 1 Curva Granulométrica Agregado Grueso	44
Gráfica 4. 2 Curva Granulométrica Agregado Fino	45
Gráfica 4.3 Resistencia a la Compresión de Cilindros	61
Gráfica 4.4 Pérdida de Densidad Según el Porcentaje de EPS	61
Gráfica 4.5 Porcentaje Perdida de Densidad	62
Gráfica 4.6 Pérdida de Resistencia Promedio a la Compresión Según el Porcentaje de EPS	62
Gráfica 4.7 Pérdida de Resistencia Característica a la Compresión Según el Porcentaje de EPS	63
Gráfica 4.8 Esfuerzo de Tracción por Flexión	69
Gráfica 4.9 Pérdida de Esfuerzo de Tracción por Flexión Promedio Según el Porcentaje de EPS	69
Gráfica 4.10 Pérdida de Esfuerzo de Tracción por Flexión Característico Según el Porcentaje de EPS	70
Gráfica 4.11 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Compresión $f'c=240\text{kg/cm}^2$	70
Gráfica 4.12 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Compresión $f'c=280\text{kg/cm}^2$	71
Gráfica 4.13 Esfuerzo de Tracción por Compresión	82
Gráfica 4.14 Pérdida de Esfuerzo de Tracción por Compresión Promedio Según el Porcentaje de EPS	82
Gráfica 4.15 Pérdida de Esfuerzo de Tracción por Compresión Característico Según el Porcentaje de EPS	83
Gráfica 4.16 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Compresión – Esfuerzo a Compresión $f'c=240\text{kg/cm}^2$	83
Gráfica 4.17 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Compresión – Esfuerzo a Compresión $f'c=280\text{kg/cm}^2$	84
Gráfica 4.18 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción – Esfuerzo a Compresión $f'c=240\text{kg/cm}^2$	84
Gráfica 4.19 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción – Esfuerzo a Compresión $f'c=280\text{kg/cm}^2$	85
Gráfica 4.20 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Tracción por Compresión Promedio	85

Gráfica 4.21 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Tracción por Compresión Característico	86
Gráfica 4.22 Valores de α para un $f'c=240$ kg/cm ²	107
Gráfica 4.23 Valores de α para un $f'c=280$ kg/cm ²	107
Gráfica 4.24 Módulo de Elasticidad para un $f'c=240$ kg/cm ²	108
Gráfica 4.25 Módulo de Elasticidad para un $f'c=280$ kg/cm ²	108
Gráfica 4.26 Curva del Módulo de Elasticidad (240 kg/cm ²)	109
Gráfica 4.27 Curva del Módulo de Elasticidad (280 kg/cm ²)	110

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Justificación

Para la elaboración de las mezclas de hormigón generalmente se utilizan tres componentes principales, según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2010, estos son: cemento, agua y áridos, en donde los procesos de extracción de estas materias primas causan pérdidas de recursos no renovables; tales como: deforestación, erosión, pérdida del estado natural del suelo en los sectores que se encuentran las fuentes mineras, a la vez que no se encuentran en sectores urbanos, el transporte de los materiales conlleva un gran gasto de energía y recursos (Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2019).

El poliestireno expandido es un material que se fabrica a nivel mundial y se lo ha usado en las industrias de la construcción, alimentación, y empaque de objetos por las propiedades que este ofrece como: aislante, acústico-térmico, capacidad de amortiguamiento, material liviano y resistencia mecánica, además es considerado como un material que no posee impurezas, sin embargo, tiene buena adherencia con el cemento y no reacciona con el mismo (Azqueta, 2014).

Las investigaciones relacionadas con el tema de disertación y que sirvieron como base para el desarrollo de la misma son las siguientes:

- Artículo científico “Experimental Study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete”. Publicados por Ning Liu, Bing Chen(2014), del Departamento de ingeniería civil, de la Universidad de Shanghai Jiaotong , Shanghai, PR China, la cual muestra los efectos de los diferentes tamaños de las partículas de EPS en las propiedades mecánicas del concreto, para lo cual se realizaron una serie de pruebas experimentales con el fin de determinar la resistencia a compresión, tracción y flexión. El estudio establece las siguientes conclusiones: Que la relación entre la resistencia a la compresión y el volumen de agregado de EPS, mostraron una caída exponencial, relacionada con el tamaño de las partículas de EPS y su composición, el tamaño de las partículas afecta también la resistencia a compresión y flexión.

- Quezada Quezada, Patricio Esteban (2010). “Estudio técnico y económico para la elaboración de bloques de hormigón liviano en base a poliestireno expandido”. (Tesis de titulación, Universidad de Talca).

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

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

- En la Universidad de Guadalajara se realizó la investigación con el tema “Determinación de la resistencia a la compresión de morteros aligerados elaborados con nano-compuestos espumados de polietileno de alta densidad reciclado y cemento portland”. El cual tuvo por objetivo utilizar las espumas de nano compuestos de polietileno de alta densidad, para reemplazar los agregados pétreos en morteros aligerados, para este fin se elaboraron diferentes especímenes de prueba que fueron sometidos a diversos ensayos de compresión. Con los resultados obtenidos se pudo concluir que “al adicionar una mayor cantidad de polímero, se reduce gradualmente la resistencia a la compresión del material. No obstante, el material se aligera sensiblemente”
- Adilson Schackow , Carmeane Effting , Marilena V. Folgueras , Saulo Güths , Gabriela A. Méndez (2014) de la Universidad de Santa Catarina, Joinville, Santa Catarina, Brazil, quienes a través de su investigación “Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent”, muestran un estudio comparativo de las diferentes propiedades mecánicas y térmicas del hormigón liviano con vermiculita y EPS, mediante la evaluación de la resistencia a compresión , densidad del hormigón, cantidad de poros, absorción de humedad y conductividad térmica, después de evaluar todas estas propiedades llegaron a las siguientes conclusiones , el hormigón

alivianando con EPS presenta una menor densidad, y mejor resistencia a pesar de ser más ligero, a su vez el hormigón fabricado con vermiculita presenta menor conductividad térmica que el fabricado con EPS.

- Vera Rencoret, Rodrigo Andres (2013), realizó un estudio titulado “Estudio de Dosificaciones Estructurales Livianos con Grado Superior a H-17, utilizando como patrón un H-20, en términos de costo- resistencia, usando como materia poliestireno expandido modificado en distintas proporciones”. que tuvo como objetivo diseñar un hormigón liviano estructural, reemplazando parte de los materiales pétreos de una mezcla tradicional por poliestireno reciclado. Para obtener el poliestireno reciclado se realizó un tratamiento térmico controlado mejorando notablemente sus propiedades físicas, llegando a concluir que el poliestireno expandido modificado (MEPS) tiene y cumple con todas las normas para ser considerado como materia prima para crear hormigón estructural liviano de alta resistencia, por sus cualidades tanto en capacidad de soporte, peso, trabajabilidad y economía.
- En el artículo científico “An investigation on the fresh properties of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene” propiedades en estado fresco de hormigones estructurales ligeros con propiedades autocompactantes fabricados con EPS, publicado por Rahmat Madandoust, Malek Muhammad Ranjbar, S. Yasin Mousavi (2011), en la Universidad de Guilan, Rasht, Iran, presentan que las propiedades mecánicas del concreto estructural autocompactantes alivianado con perlas de poliestireno expandido ,mediante la realización de pruebas de asentamiento o slump, incluyendo cantidades diferentes de agua, partículas de nano-SiO₂ y porcentajes diferentes de EPS , establecieron las siguientes conclusiones: Utilizando EPS en las mezclas, se reduce la demanda de agua mientras se alcanza un slump alto ,a su vez la tendencia de segregación que presentan las muestras con EPS, logra reducirse utilizando nano-SiO₂. El uso de nano-SiO₂ tiene menos efectos negativos en la trabajabilidad que los concretos con EPS, resultando la resistencia a compresión de los concretos alivianando con EPS menor que los concretos convencionales.

- En la Pontificia Universidad Católica del Ecuador se han realizado trabajos de disertación tales como “Evaluación y análisis en el sistema hormi2 de bordillos de hormigón con núcleo de poliestireno” resultando con una resistencia a la flexión promedio de 3,5 MPa para uso peatonal y 5 MPa para uso industrial, sin cumplir con la resistencia a flexión requerida de 6 MPa para obras especiales; sin existir temas similares al tema de investigación actual.

La propuesta de la siguiente investigación es elaborar hormigones alivianados con perlas de poliestireno expandido, con lo cual la cantidad de áridos será menor al de un hormigón normal, por ende, se reducirá el uso de recursos no renovables, ayudando a disminuir el impacto ambiental que produce la minería en el Ecuador (Mehta, 2001).

1.2.Planteamiento del Problema

Mehta (2001), indica que la producción mundial de hormigón por año es de 1.6 billones de toneladas, lo que representa alrededor del 8% de la carga global de dióxido de carbono que existe en la atmósfera. El hormigón ordinario contiene alrededor de 17% de cemento y 75% restante está compuesto de agregado por masa, lo que significa que a nivel mundial para hacer hormigón consume en un promedio de 10 a 11 billones de toneladas de agregados cada año. Las operaciones de extracción, procesamiento, y transporte que requieren estas grandes cantidades de agregado tienen como consecuencia el consumo considerable de elevadas cantidades de energía, y estas a su vez afectan el medioambiente como son las áreas forestadas y lechos de ríos (Mehta, 2001).

En el artículo publicado por diario el Comercio (2014), titulado “Canteras de Quito” se manifiesta que transportar los materiales de las canteras que se encuentran ubicadas en la Mitad del Mundo tienen una repercusión directa en los costos de construcción, y en algunos puntos de la ciudad genera problemas de congestión; además, en su mayoría, las canteras no presentan una buena infraestructura para la extracción de sus áridos y no tienen un manejo ambiental adecuado (Comercio, 2014).

Según un estudio realizado por Espinoza, C. Guzmán, D. (2013) titulado “ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EXPOST DE LA CANTERA SAN ANTONIO UBICADA EN LA PARROQUIA LA AURORA DEL CANTON DAULE” analiza el impacto ambiental de la cantera donde establece que la extracción de materiales pétreos genera la destrucción de la capa natural superficial, alteración de la estratigrafía del terreno, además que al tener el

material a cielo abierto existe contaminación en la calidad del aire por este motivo afecta la situación social y la economía de los sectores aledaños a la fuente de extracción.

1.3. Antecedentes

No existe un registro exacto del origen del hormigón. Sin embargo, se conoce que el Imperio Romano popularizó su uso dado a que se encontraban ubicados en lugares estratégicos, los mismo que les otorgaba un fácil acceso a terrenos que poseían arenas volcánicas con características cementicias, aspecto que generó que el 90% de sus estructuras fueran construidas con hormigón, que en un inicio estaba constituido de un mortero de cal, granos y arenas cementicias (Nistal, 2012).

En el siglo XVIII, John Smeaton era considerado como uno de los pioneros de la ingeniería moderna, además de haber sido el encargado, después de varios intentos fallidos de la construcción definitiva del faro de Eddystone (Construyored, 2018). Smeaton encontró que las cualidades hidráulicas endurecedoras que poseía la cal blanca usada generalmente para el mortero en comparación a la cal gris poseía impurezas, motivo por el cual buscó alternativas y determinó que la Pozzelana tenía mejores cualidades hidráulicas y así empezó la era del “Hormigón Moderno” el cual estaba básicamente compuesto de agua, agregado fino y grueso (Nistal, 2012).

Desde entonces la elaboración del hormigón ha evolucionado, impulsando al sector de la construcción a experimentar con productos no tradicionales, los mismos que en diversas ocasiones presentan mejores cualidades que permiten enriquecer las características físico-mecánicas tanto en estado fresco como en un estado endurecido. En la década de los 50 se empieza a usar el poliestireno expandido como aislador térmico y acústico en forma de planchas con distintos espesores y densidades, la misma que concluyó en los 60's. Más adelante, se han realizado investigaciones del comportamiento del poliestireno expandido con el hormigón, en bloques livianos, en los cuales mediante el estudio técnico y económico para la elaboración de bloques de hormigón liviano en base a poliestireno expandido realizado por Quezada (2010), quién determinó como resultado una disminución de peso del 25,7 % comparado con el bloque tradicional.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas entre un hormigón alivianado con poliestireno expandido y un hormigón de peso normal a la edad de 28 días, utilizando agregados pétreos del sector de Pifo.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Obtener la resistencia a la compresión y a la tracción de los hormigones alivianados con distintos porcentajes de poliestireno expandido para cada relación agua/cemento utilizadas en el estudio.
- Determinar la variación de la resistencia a la compresión y tracción respecto a los distintos porcentajes de poliestireno expandido.
- Demostrar que un hormigón alivianado con poliestireno expandido tendrá una reducción considerable en su densidad comparándolo con un hormigón de peso normal.
- Identificar las ventajas y desventajas que puede ofrecer el poliestireno expandido al hormigón y sugerir su aplicación en el sector de la construcción.

1.5. Alcance

El alcance de la siguiente investigación es analizar como el hormigón alivianado con perlas de poliestireno expandido se comporta en los ensayos de compresión, módulo de elasticidad, tracción (método brasilero) y flexión en vigas con cuatro distintos porcentajes manteniendo dos relaciones entre agua y cemento. En la investigación se utilizará agregados pétreos del sector Pifo, cemento Portland Puzolánico Tipo IP-GU y perlas de poliestireno expandido.

1.6 Hipótesis

Reemplazando porcentajes de agregado fino por poliestireno expandido, se espera que el peso unitario del hormigón se reduzca considerablemente, manteniendo su resistencia a la compresión, para así cumpla los requisitos para un hormigón liviano estructural.

CAPITULO II

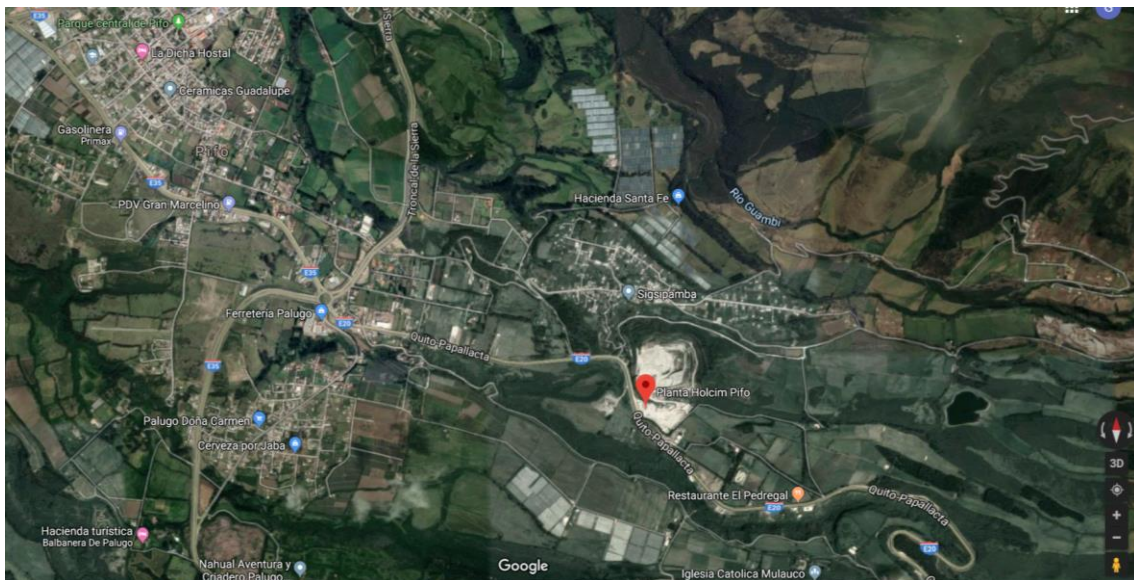
2. MARCO TEORICO

2.1 Áridos

Los áridos son materiales de forma granular y los encontramos en dos grupos: los agregados pétreos gruesos y los finos, los mismos que al mezclarse con el cemento hidráulico y en presencia de agua forman un concreto u hormigón cuyas características dependerán de una adecuada dosificación y del uso del mismo (González, 2004: 22). Además, Gonzáles (2004), sostiene que los agregados pétreos deben de cumplir ciertas características como son: estar limpios, es decir sin materia orgánica, polvo o arcilla, ni contener poco porcentaje de partículas planas o alargadas, al contrario, deben de ser resistentes y tener una granulometría adecuada según las normas establecidas en la NTE INEN 696 (INEN, 2011).

Los agregados utilizados en la presente investigación provienen de la Cantera de Pifo cuyas coordenadas georreferenciadas son -0.246931 Latitud y -78.313525 Longitud, y su tamaño máximo nominal es de 1 pulgada o 25 mm.

Imagen 2.1 Cantera Pifo



Obtenido de Google Maps.

Los agregados se pueden obtener mediante dos formas, ya sea en depósitos de origen natural como son los ríos, canteras, entre otros, o como producto de la trituración de rocas (Neville, 1999). Los agregados gruesos están formados por una combinación de roca triturada y grava cuyas partículas predominantes tienen un tamaño mayor a 5 mm y hasta 125 mm, también conocida como grava (Chang, 2003). Los agregados finos están compuestos de arena natural o piedra triturada con partículas de tamaños menores a 5 mm, motivo por el cual se utiliza desde el Tamiz #4 (4.75mm) hasta el tamiz #100 (0.150mm), que es lo más adecuado para el hormigón (Neville, 1999: 163).

2.1.1 Propiedades de los Áridos

Özturan (1997), señala que el cemento, agua, agregado fino y grueso son características que determinan los esfuerzos que soporta el hormigón dadas sus propiedades físicas, entre los más importantes podemos encontrar: forma, mineralogía, resistencia, textura, la porosidad, la absorción, la densidad, la adherencia, granulometría, abrasión, durabilidad, entre otras. Las características mencionadas con anterioridad inciden directamente sobre el comportamiento del hormigón en estado fresco y endurecido, por ende presenta una repercusión directa en la resistencia del hormigón (Özturan, 1997, p. 165).

2.1.1.1 Absorción

Según Chan (2003), la absorción es la capacidad que poseen los agregados para absorber agua, la misma que les permite pasar de un estado seco a un estado saturado con superficie seca, es decir, cuando los poros internos están saturados de agua.

Chan (2003), agrega también que la absorción es la propiedad de los agregados que más influye en la consistencia del hormigón, ya que esta afecta la manejabilidad de la muestra. En caso de que dos agregados presenten una absorción similar, esta será determinada por factores secundarios, los mismos que determinarán la consistencia de la mezcla. Una buena manejabilidad del hormigón se obtiene de la combinación de agregados con un bajo índice de absorción y un coeficiente adecuado de forma, que produce que sus partículas presenten una apariencia redonda. (Chan. 2003: 42).

2.1.1.2 Granulometría

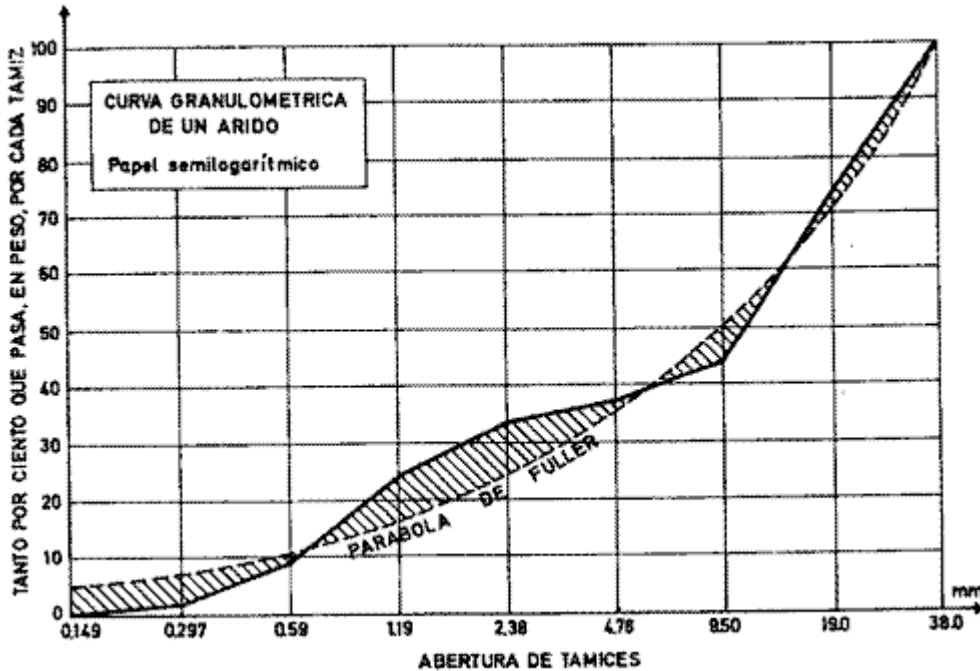
Es la distribución de los diferentes tamaños de las partículas que conforman los áridos, se lo conoce también como la operación de separar una muestra de agregado en fracciones (Neville, 2013). El estudio de la distribución generalmente se realiza mediante

la curva granulométrica que se obtiene pasando el material por distintos filtros o tamices normalizados según el tipo de agregado. La curva granulométrica nos permite observar si nuestro material se ajusta a alguna especificación, si hay gran porcentaje de agregados gruesos o finos, o deficiente en un tamaño particular (Neville, 2013).

Neville (2013), indica que no existe una curva granulométrica ideal, al contrario, cada investigador como Fuller, Bolomey, Hummel, entre otros, poseen su propia curva granulométrica ideal. Según un artículo publicado en Ingeniería Civil (2010), se manifiesta que Hummel indica que no es necesario replicar cualquiera de las curvas ideales, ya que en la práctica implicaría un gran costo, basta con que el módulo de finura del árido sea semejante al de la curva ideal adoptada para saber que el árido cumple con las proporciones adecuadas de agregado fino y grueso (Ingeniería civil, 2010).

Por ejemplo, en la Imagen 2.2, en la curva granulométrica ideal de Fuller observamos que al ser iguales los módulos de finura de la parábola de Fuller y la del árido, las áreas rayadas que puedan sobre y debajo de la parábola de Fuller son equivalentes.

Imagen 2.2 Parábola de Fuller



Fuente: Hormigón Armado

La granulometría está relacionada con la forma en que las partículas de los agregados se acomodan dentro de la mezcla de hormigón. Cuando los agregados son muy gruesos, se producen mezclas rígidas, mientras que los agregados que presentan una curva granulométrica suave producirán una mezcla con mayor trabajabilidad y con propiedades más satisfactorias del hormigón fresco (Neville, 2013).

2.1.1.3 Material que pasa el Tamiz #200

Los materiales más finos que 75 μm (tamiz#200), generalmente se componen de limos y arcillas en los agregados naturales, los cuales se obtiene a partir de la disgregación del material; estos pueden estar presentes como polvo y formar un revestimiento en las partículas de los áridos gruesos, afectando la adherencia entre los agregados y la pasta de cemento; además, si este material se encuentran en cantidades excesivas, la demanda de agua puede aumentar significativamente, y con lo cual podría disminuir la resistencia del hormigón (Simeón, 2007).

2.1.1.4 Modulo de Finura

También conocido como módulo granulométrico o de finura es el índice que se define como la sumatoria de los porcentajes retenidos en cada tamiz de la serie de Tyler dividida por 100. El módulo de finura cuantifica el área limitada por la curva granulométrica (en papel semilogarítmico), y es el área entre la horizontal trazada a la altura 100 por 100 y una línea vertical trazada en la abertura del tamiz N°100 (Montoya, 1974).

El módulo granulométrico es importante para establecer los porcentajes óptimos de mezcla del agregado fino y grueso, para lo cual empleando la curva ideal de Fuller o de otros autores obtenemos la tabla 2.1 que está en función del tamaño máximo del agregado, así encontraremos el módulo granulométrico teórico que debe cumplir nuestros agregados.

Tabla 2. 1 Módulo Granulométrico de Áridos que siguen la parábola de Fuller.

Tamaño máximo del árido en mm	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Módulo granulométrico	5,2	5,5	5,6	5,8	6,00	6,2	6,3	6,40	6,5	6,60

Fuente: Hormigón Armado

Una vez seleccionado el módulo granulométrico teórico es necesario tener los módulos de finura del agregado fino y grueso, independientemente, y se aplica las siguientes ecuaciones teniendo como variables los porcentajes en peso que deben mezclarse con la pasta.

$$m = ma * \frac{x}{100} + mg * \frac{y}{100} \quad (1)$$

$$x + y = 100 \quad (2)$$

Donde:

m: Módulo granulométrico teórico elegido

ma: Módulo granulométrico del agregado fino

mg: Módulo granulométrico del agregado grueso

x: porcentaje de mezcla del agregado fino

y: porcentaje de mezcla del agregado grueso

2.1.1.5 Densidad y Gravedad Específica

La gravedad específica también denominada densidad relativa de un agregado es la relación entre la densidad del agregado y la densidad del agua. Se la usa en algunos cálculos de proporcionamiento y del control de la mezcla, tal como el volumen absoluto ocupado por el agregado en un volumen de diseño de hormigón (Briceño, s/f).

Según Briceño (s/f), la densidad es una de las propiedades de mayor importancia, ya que de esta depende que el hormigón resultante pueda ser mayor o igualmente denso, lo cual influye directamente sobre el peso volumétrico y la resistencia a la compresión del mismo. El volumen que ocupa un agregado según su peso es un indicador de las características de este en lo referente a ligereza, porosidad y permeabilidad, propiedades que pueden afectar de manera al hormigón, necesitando de esta manera una mayor cantidad de cemento para obtener una resistencia específica (Briceño, s/f).

2.1.1.6 Porosidad

La porosidad es la propiedad que relaciona el volumen de vacíos y el volumen total que ocupan los materiales expresándola en porcentaje. Cerón (1996), manifiesta que:

“A mayor porosidad externa mayor esfuerzo de adherencia, de manera que los agregados gruesos con una mayor densidad y resistencia al desgaste presentan una menor porosidad, y como consecuencia menor adherencia” (Cerón, 1996: 27).

Algunos poros del agregado están totalmente inmersos dentro de la partícula, pero otros se abren a la superficie, de modo que el agua, y otros agentes agresores, pueden penetrar en ellos. El grado de porosidad de las rocas comunes varía de 0 a 50% (Neville, 1999). Teniendo en cuenta que el agregado representa aproximadamente tres cuartas partes del volumen del hormigón, es claro que la calidad de la roca utilizada como agregado es un factor que podría contribuir a la porosidad total del concreto (Cerón, 1996).

2.1.1.7 Peso Unitario Volumétrico

Es la relación de la masa del agregado y el volumen que ocupa el mismo, incluyendo el volumen de vacíos que están entre las partículas del agregado ensayado. Simeón (2007), manifiesta que existen dos pesos unitarios los cuales son el suelto (PUS) y el compactado (PUC), la diferencia es el sistema que se emplea para acomodar el material; mientras que en el peso unitario suelto se disgrega el material en el recipiente, el peso unitario pasa por un proceso de compactación. Es una propiedad de mucha importancia para determinar el contenido de materiales (agregados, agua y cemento) por metro cúbico de hormigón y permite transformar pesos a volúmenes o viceversa (Simeón, 2007).

2.1.1.8 Abrasión

Se define como “la capacidad de un material para resistir el desgaste mecánico superficial por frotamiento, fricción e impacto” (ACI 116R). La resistencia del árido no resulta fácil de medir de una forma directa, por lo cual se utilizan ensayos indirectos tales como el ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles (ASTM C-131, C-535).

La resistencia a la abrasión es un indicador de la calidad de agregado y es esencial para hormigones que estarán en contacto al desgaste como es el caso de pisos industriales o pavimento rígido. Si el agregado tiene una baja resistencia al desgaste puede aumentar la cantidad de finos y como consecuencia el aumento de agua, afectando así la relación A/C y por ende la resistencia del hormigón. Es decir que un agregado con superficie lisa y redondeada es más resistente a la abrasión que un agregado triturado.

2.1.1.9 Durabilidad al Desgaste de Sulfatos

Es la capacidad de un material para mantener un buen comportamiento y durabilidad al encontrarse expuestos a factores adversos de clima o uso, que puedan generar un desgaste frente a la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio.

El desgaste de los sulfatos es uno de los principales problemas que presenta el hormigón, puesto que una de sus funciones es someter a los áridos a la acción de ciclos de exposición y secado, en una solución de sulfato de sodio y magnesio, los cuales al ser producto de la naturaleza pueden atacar directamente al hormigón endurecido ya que en ocasiones estos se encuentran disueltos en agua junto a las estructuras del hormigón, y así determinando los efectos de esta acción sobre las partículas de los áridos (Ebensperger y Torrent, 2016). Además, es importante mencionar que los desgastes de los sulfatos pueden ser clasificados como: desintegración, desmoronamiento, agrietamiento, y exfoliación (Ebensperger y Torrent, 2016).

2.2.1.10 Contenido Orgánico

En los áridos finos a veces se presenta materia orgánica la cual al encontrarse en grandes cantidades es perjudicial para las propiedades del hormigón, afectando en la hidratación del cemento, consecuente a la resistencia, tiempo de fraguado y durabilidad del hormigón. El valor límite para la aceptación del agregado fino es de 500 ppm, para determinar el contenido orgánico se debe realizar una prueba colorimétrica detallada en la Norma ASTM C-40.

Tabla 2. 2 Influencia de las Propiedades de los Agregados en el Hormigón

Propiedades	Influencia en el Hormigón
Absorción	En la consistencia, trabajabilidad de la mezcla y la resistencia.
Granulometría	En la forma en las que las partículas de los agregados se acomodan dentro de la mezcla
Módulo de Finura	Establece los porcentajes óptimos de mezcla del agregado fino y grueso
Densidad	Sobre el peso volumétrico y la resistencia a la compresión del mismo, referente a la ligereza, porosidad y permeabilidad
Porosidad	Directamente proporcional a la adherencia del agregado en el hormigón
Abrasión	En el desgaste en condiciones altamente abrasivas e impactos
Peso Volumétrico	Determina el contenido de materiales por m ³ de hormigón, así el contenido de aire
Material que pasa el Tamiz #200	Afecta a la adherencia entre el árido y la pasta de cemento, si existe cantidades excesivas la demanda de agua aumenta significativamente
Durabilidad de los Sulfatos	Indicador si el hormigón tiene capacidad en ambientes soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio
Contenido Orgánico	En la hidratación del cemento, consecuente a la resistencia, tiempo de fraguado y durabilidad del hormigón

Fuente: propia.

2.2 Cemento

Según Cetesa (2017), el cemento es un material pulverizado conocido como conglomerante o aglomerante que al adicionar agua se endurece y fragua, tanto expuestos bajo el agua como al aire formando así compuestos estables. El cemento se presenta en forma de un polvo fino y principalmente utiliza dos materias primas fundamentales: caliza, con altos porcentajes de óxidos de calcio y un componente rico en sílice, constituido generalmente por arcilla o una escoria de alto horno (Zabaleta, 1992).

Zabaleta (1992), añade también que estos componentes en proporciones adecuadas son mezclados y en un horno giratorio se los somete a un proceso de fusión,

obteniendo un material granular denominado clinker. El clinker esencialmente compuesta por cuatro elementos químicos, los cuales son, los silicatos dicálcico y tricálcico, aluminato tricálcico y el ferroaluminato tetracálcico es convertido en polvo finísimo mediante molinos de bolas, y en esta etapa se le adiciona un porcentaje de yeso y se obtiene el cemento Cemento Portland (Zabaleta, 1992).

Durante el proceso de molienda del clinker se le puede añadir otros productos naturales o artificiales formando así las distintas variaciones de Cemento Portland con Adiciones o Especiales.

En la presente investigación se utilizó el Cemento Portland Puzolánico Holcim Fuerte Tipo GU (Imagen 2.3), ya que es el tipo de cemento estándar para construcción en general, por lo cual puede ser usado en:

- Cimentaciones
- Columnas, Vigas y Losas
- Aceras y Bordillos
- Bloques y Adoquines
- Albañilería en General

Imagen 2.3 Cemento Holcim Fuerte Tipo GU



Fuente:(Portal Directa Holcim GU)

Según el Instituto Español del cemento y sus aplicaciones (IECA, 2019), el cemento al ser un material fundamental para la elaboración del hormigón debe cumplir con una composición química adecuada de acuerdo al tipo de cemento con ciertas propiedades físico-mecánicas, las que cuales se describen a continuación:

2.2.1. Consistencia Normal del Cemento

Se refiere a la manejabilidad que tiene la pasta formada por cemento y agua; propiedad con la cual se determina la porción de agua necesaria para que el cemento tenga una correcta hidratación y es el estado en el que la pasta se desprende fácilmente de recipientes y al aumentar la cantidad de agua la pasta elevará su manejabilidad y plasticidad, pero reducirá su resistencia (IECA, 2019). La consistencia del cemento nos sirve para determinar los tiempos de fraguado inicial y final.

2.2.2. Finura

La finura se refiere al tamaño de las partículas que posee el cemento luego del procedimiento de molido del clinker; debido a que la hidratación inicia en la superficie de las partículas de cemento la rapidez de hidratación depende de la finura del grano de cemento, así a mayor finura mayor resistencia del hormigón (IECA, 2019).

Un cemento más fino mejora la trabajabilidad de la pasta; para cementos de uso general la finura no debe ser menor de los 280 kg/m², mientras que para cementos de alta resistencia la finura redondea el rango de 700-900 kg/m² (IECA, 2019).

2.2.3 Tiempo de Fraguado

El IECA (2019), señala también que el cemento al entrar en contacto con el agua empieza una transición de estado plástico a estado sólido, es decir, inicia su tiempo de fraguado. Existen dos tiempos de fraguado el inicial el cual es el periodo donde la mezcla empieza a perder plasticidad hasta convertirse en una pasta parcialmente hidratada y semisólida y el tiempo de fraguado final, que es el tiempo en el que la pasta ya no es plástica y con pequeñas cargas el material se rompe, no se deforma, desde ese punto empieza el endurecimiento del hormigón (IECA, 2019).

Es muy importante conocer los tiempos de fraguados del cemento ya que se sabe desde cuándo se debe curar el hormigón, y en el caso de agregar algún aditivo acelerante y/o retardante o simplemente en obra, es necesario conocer cuando ya es seguro desencofrar algún elemento estructural.

2.2.4 Expansión

La pasta de cemento solidificado, durante el proceso de endurecimiento puede sufrir una variación en su volumen, es importante que este cambio de volumen o expansión no sea apreciable, ya que podría ocasionar fisuras y agrietamientos e incluso roturas en la pasta de cemento ya fraguada (IECA, 2019). El exceso de cal libre se da cuando las partículas de óxido de calcio no llegan a combinarse con los otros componentes y su volumen aumenta de manera desproporcionada hasta explotar, ya que el clinker no ha sido enfriado rápidamente al salir del horno formando periclasa proveniente del óxido de magnesio originando a largo plazo fisuras en el hormigón. El método de ensayo para determinar la expansión es el método de autoclave ASTM C-151 (INEN, 2011).

2.2.5 Resistencia a la Compresión de Morteros en Cemento

Según el INEN (2011), la resistencia mecánica del cemento es uno de los parámetros que se debe cumplir en cuanto a requisitos de usos estructurales (INEN 196), y para que un cemento esté apto para ser usado se evaluará con la prueba de resistencia de la cual existen tres formas: tensión directa, compresión directa y tensión por flexión. El ensayo generalmente usado es el de compresión simple (ASTM C 109/C106M-07), pero no se lo realiza a la pasta de cemento, ya que, por sus dificultades de moldeo, originan gran variación de resultados, es así que se estandarizó.

Conocer el comportamiento mecánico del cemento es importante debido a que influye sobre la resistencia del hormigón o un mortero el cual depende de la cohesión de la pasta de cemento, la resistencia del árido y de su adhesión a las partículas de los agregados.

Comprendiendo esto, este ensayo nos permite conocer la determinación del esfuerzo de compresión simple, es decir, si el mortero compuesto de cemento, arena normalizada y la relación agua/cemento, previamente obtenida en el ensayo de consistencia del cemento, cumplen con los requisitos que exige la norma INEN 196.

Además, nos ayuda a identificar la aplicación de una carga axial, continua y sin impacto que al aumentarse uniformemente produce la rotura de la muestra.

2.3. Poliestireno Expandido

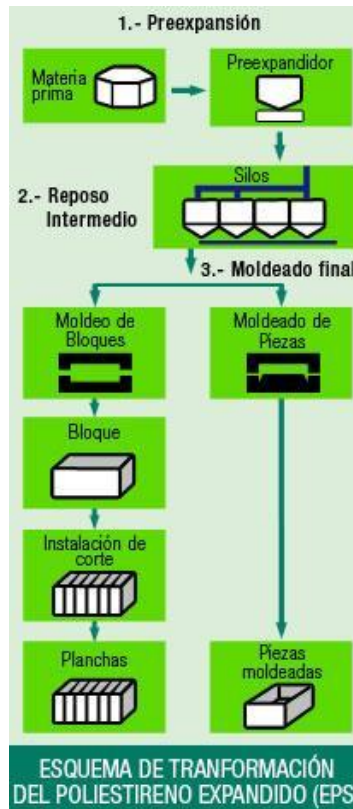
Según la Asociación Nacional de Poliestireno Expandido Española el Poliestireno Expandido o EPS (Expanded PolyStyrene) (2019), se define como: *“Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire”*. Al igual que todos los plásticos se deriva del petróleo y se produce al pasar un proceso químico entre el gas natural y el petróleo (Española, 2019).

2.3.1. Proceso de Fabricación del Poliestireno Expandido

La materia prima del Poliestireno Expandido es el Poliestireno Expandible que es una polimerización del estireno y a su vez se sintetiza con benceno y etileno (Española, 2019). En el proceso de polimerización al estireno se le adhiere un agente expandente generalmente pentano que aumenta el volumen del Poliestireno durante el proceso de transformación. Como resultado se obtiene perlas de Poliestireno Expansible con un diámetro no superior a los 3,0 mm. que mediante los siguientes procesos físicos se obtendrá el Poliestireno Expandido (Española, 2019).

- a. Pre-expansión: En esta etapa las perlas de Poliestireno Expansible se calientan por medio de una inyección de vapor de agua a una temperatura entre 80-110°C. dilatando el pentano y aumentando su volumen inicial hasta 50 veces.
- b. Reposo Intermedio y Estabilización: En esta etapa las perlas se almacenan durante algunas horas, se difunde aire a través de sus membranas logrando estabilidad mecánica de las partículas y se elimina el exceso del pentano.
- c. Expansión y Moldeo Final: En esta etapa las perlas pre-expandidas y estabilizadas se trasladan a unos moldes donde se les realiza una segunda expansión con el mismo método de la primera etapa, además se realiza una soldadura de las perlas entre sí para formar una estructura cúbica con las dimensiones de un molde. Obteniendo finalmente grandes bloques que posteriormente se les puede mecanizar en distintas formas (planchas, perlas, cilindros, entre otras.) (Española, 2019).

Imagen 2.4 Proceso de Transformación del Poliestireno Expandido



Fuente: Asociación Nacional de Poliestireno Expandido.

Según Valdez (2015,) señala que para las obras civiles el Poliestireno Expandido generalmente es comercializado en forma de planchas de distintos espesores y densidades. El EPS o Poliestireno Expandido principalmente en el sector de la construcción es utilizado como aislamiento acústico o térmico, un edificio aislado adecuadamente con Poliestireno puede reducir hasta el 40% de energía usada en la climatización de la estructura (Valdez, 2015).

Imagen 2.5 Planchas de Poliestireno Expandido



Fuente: Pagina Virtual de POLIEXPANDIDOS.

En los últimos años debido a su gran variedad de formatos que puede presentar el material además de ser usado como aislamiento termoacústico se está usando como moldes de encofrado, aligeramiento de algunas estructuras, juntas de dilatación, rehabilitación de la envolvente térmica y hormigones livianos. (Aislantes, 2007).

2.3.2 Resistencia Mecánica

El EPS resiste esfuerzos a la compresión, flexión, tracción y corte, la densidad del material es directamente proporcional a las propiedades mecánicas mencionadas anteriormente, es decir mientras mayor sea el espesor de las celdas de la estructura del EPS proporciona mayor rigidez y densidad (Española, 2019).

En el caso de los esfuerzos a la flexión el Poliestireno Expandido tiene una gran capacidad para absorber energía, a través de la expulsión de aire al interior de las celdillas, cabe recalcar que este comportamiento se da solo si el material se encuentra dentro del rango lineal, y sus esfuerzos no superen el 2% de la deformación axial máxima (Española, 2019).

2.3.3. Aislamiento Térmico

Según Solis (2005), el Poliestireno Expandido posee una gran capacidad de aislamiento térmico frente al frío o calor, esta propiedad se puede evidenciar cuando el material es usado como aislante para cerramientos en edificios, o en el sector de almacenar alimentos frescos por ejemplo en las cajas de pescado. La buena capacidad

de aislamiento térmico se debe a su estructura, aproximadamente el 98% del volumen del material es aire y solamente el 2% poliestireno, y es conocido que el aire en reposo es un excelente aislante térmico (Solis, 2005).

2.3.4 Comportamiento en el agua

Según la Asociación Nacional de Poliestireno Expandido el EPS no es un material higroscópico, es decir que no tiene la capacidad para absorber agua o humedad (Española, 2019). En la presente disertación el Poliestireno al tener esta característica en las mezclas de hormigón realizadas con distintos porcentajes de EPS nos permiten mantener la relación Agua/Cemento constante, siendo así una variable controlada (Solis, 2005).

2.4 Hormigón

El hormigón es una masa endurecida que por su naturaleza es heterogéneo al ser producto resultante de la mezcla de 4 elementos principales: agua, cemento, agregado fino y agregado grueso en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades deseadas en el material. Se puede incorporar aditivos a la mezcla de hormigón, los cuales sirven para mejorar o modificar la mezcla.

La resistencia a la compresión simple es una de las características principales del hormigón, que se define como la capacidad para soportar carga por unidad de área y se expresa en términos de esfuerzo kg/cm^2 o Mpa . Esta resistencia depende de las proporciones de sus elementos como también de las propiedades físico-mecánicas de los mismos.

Imagen 2.6 Cilindro de Hormigón



Fuente: Pagina Virtual www.ibertest.es

2.4.1. Trabajabilidad

La trabajabilidad del hormigón es la mayor o menor facilidad que presenta el material para ser mezclado, transportado, consolidado o colocado en obra y para ser terminado, está normalmente ligada a la consistencia, y se mide con el ensayo de asentamiento del Cono de Abrams, descrito en la norma ASTM C143, en la Tabla 2.3 en las cual se establece los tipos de consistencia de acuerdo al asentamiento (INEN, 2011).

Se considera que un hormigón plástico es normalmente trabajable de uno con menor condición de plasticidad; sin embargo, se debe tener en cuenta la cohesión de la mezcla, por cuanto un contenido de agua neta elevado puede generar segregación, problemas de lechosidad y escurrimiento (INEN, 2011).

Tabla 2. 3 Consistencia vs Asentamiento

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO(cm)
SECA*	0-2
SEMISECA	3-5
PLASTICA	6-9
COLODA	10-15
FLUIDA	más de 15

*La consistencia seca se determina mediante el consistometro de Vebbe y no por medio del cono de Abrams.

Fuente: ASTM C143.

Para obtener una mezcla con buena trabajabilidad se debe considerar, las características de los materiales empleados para su elaboración: En los agregados es la granulometría y forma de las partículas, en el Cemento es la cantidad empleada por metro cubico y su finura, en el Agua la cantidad necesaria para obtener la consistencia esperada y si es necesario un Aditivo se considera el tipo de aditivo y la cantidad dosificada (Cassinello, 1996).

2.4.2. Lechosidad

Después que el hormigón ya ha sido consolidado y terminado se puede observar que cuando una parte del agua de la mezcla sube a la superficie arrastrando las partículas inertes y finas del cemento las cuales debilitan la parte superior del hormigón recién fundido o durante el proceso de fraguado, lo que puede generar grietas de contracción plástica (Cassinello, 1996: 32).

Esto se debe a que la velocidad de evaporación es mucho menor en relación a la velocidad de exudación. Esto se puede controlar, en parte, mediante una selección adecuada de los componentes, aumentando la cantidad de agregado fino, disminuyendo

la de grueso; con el uso del cemento de alta resistencia inicial, cantidades mínimas de agua neta, aditivos inclusores de aire, que son útiles en la disminución de la exudación en las mezclas de hormigón.

2.4.3. Durabilidad

The American Concrete Institute (ACI) (1989), define la durabilidad del concreto de cemento Portland como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, el ataque químico, abrasión, y cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzcan deterioro del concreto.

De aquí que se define la vida útil de una estructura -la cual está íntimamente relacionada con su comportamiento bajo determinadas condiciones de servicio, durante un periodo de tiempo determinado- como el periodo de tiempo en el cual conserva los requisitos previstos de seguridad, funcionalidad y aspecto, con costos razonables de mantenimiento (ACI, 1989).

2.4.4. Permeabilidad

Es una propiedad del hormigón endurecido que consiste en que este puede ser atravesado por un fluido (agua, vapor de agua) a causa de una diferencia de presión entre las dos superficies, de igual manera el agua puede circular a través del hormigón por capilaridad (Sánchez, 2001: 149).

Sánchez (2001), señala también que la permeabilidad del hormigón depende de la porosidad de la pasta de cemento y los agregados, así como de los vacíos causados por una compactación deficiente o por capilares dejados por el agua de exudación.

2.4.5. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) (INEN, 2010).

El ensayo universalmente conocido para determinar la resistencia a la compresión, es el ensayo sobre probetas cilíndricas elaboradas en moldes especiales que tienen 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Las normas NTC 550 y 673 son las que rigen los procedimientos de elaboración de los cilindros y ensayo de resistencia a la compresión respectivamente (INEN, 2010).

2.5 Hormigón Ligero

Son hormigones que mediante métodos en el proceso de elaboración reducen su densidad en comparación con un hormigón convencional de cemento, agua, grava y arena (Neville, 2013). Se los produce con agregados ligeros (hormigón totalmente ligero) o con una combinación entre agregados ligeros y normales. Generalmente se considera un hormigón de peso ligero si la densidad es menor a 1900 kg/m^2 y mayor a 1350 kg/m^2 (Neville, 2013). Existen varios métodos para la elaboración de hormigones ligeros a continuación mencionaremos algunos:

- Uso de espumas ligeras
- Reemplazo total o parcial de áridos convencionales
- Uso de áridos de baja densidad
- Incorporando burbujas de aire en su interior (Neville, 2013).

Para que un Hormigón sea considerado como ligero endurecido las propiedades a evaluar son densidad y resistencia a la compresión del material.

2.5.1 Propiedades de los Hormigones Ligeros

2.5.1.1 Resistencia a la Compresión (f'_c) y Densidad.

Al igual que en el hormigón de peso normal la resistencia al esfuerzo de compresión es una de las características más importantes de su calidad, en hormigones livianos se los clasifica en hormigones estructurales y como su nombre lo indica son hormigones que se trabaja en elementos como columnas, vigas, losas, etc, y hormigones no estructurales que son utilizados como aislantes térmicos o en rellenos y elementos decorativos (INEN, 2010).

El American Concrete Institute (1989), señala en su norma ACI 318-14 que para que un hormigón sea considerado ligero, su densidad deberá ser menor a 1842 kg/m^3 , mientras que al hablar de la resistencia a la compresión encontramos la siguiente tabla de los límites del esfuerzo a la compresión (f'_c) para utilizar hormigones ligeros:

Tabla 2. 4 Límites para $f'c$

Aplicación	Concreto	$f'c$ Mínimo (MPa)	$f'c$ Máximo (MPa)
General	Peso normal y liviano	17	70
Pórticos especiales resistentes a momentos y muros estructurales especiales	Peso Normal	21	70
	Liviano	21	35

Fuente: ACI 318-14.

En una investigación presentada por la Universidad de Castilla (s/f), señala que la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE), define al hormigón ligero estructural como aquel hormigón cuya densidad en estado seco es inferior a 2000 kg/m^3 , pero mayor a 1200 kg/m^3 , y que tiene una resistencia a la compresión mínima de 15 MPa. Por último, un articulado del Eurocódigo de la Construcción establece que la resistencia mínima es 12 MPa, mientras que si el hormigón se utilizará como aislante térmico y no estructuralmente las resistencias a la compresión máximas serán de 7 N/mm^2 .

La densidad es el otro parámetro que nos ayuda a clasificar al hormigón ligero entre las cuales tenemos:

- Densidad entre 250-600 [kg/m^3]: Utilizados como protección contra incendios.
- Densidad entre 600-800 [kg/m^3]: Usados para recubrir taludes, impermeabilización rellenos por su facilidad de colocación.
- Densidad entre 800-1000 [kg/m^3]: Se utiliza para elementos prefabricados no estructurales, es decir que no reciben carga.
- Densidad entre 1100-1400 [kg/m^3]: Utilizados como elementos portantes o no portantes como mamposterías fundidos en sitio o prefabricados.
- Densidad entre 1600-1800 [kg/m^3]: Se utiliza en losas sobre Steel panel deck (plancha colaborante) (Universidad de Catilla, s/f).

La reducción de la densidad en los hormigones se puede realizar mediante tres metodologías:

Hormigones de Áridos Ligeros

Son hormigones que utilizan áridos de baja densidad, por lo general menor a los 2000 kg/m³, estos materiales pueden ser tradicionales o artificiales que pueden llegar a densidades inferiores de 300 kg/m³; el hormigón con áridos ligeros es el único que se puede utilizar estructuralmente, debido al desarrollo de sus propiedades (Álvarez, 2012).

Los principales áridos tradicionales para elaborar hormigón ligero son piedra pómez, cenizas volcánicas, cenizas volcánicas consolidadas y la diatomita, al ser todas de origen volcánico, excepto la diatomita, estos agregados se encuentran solamente en algunos lugares del mundo por lo que no se utilizan de manera extensa, pero se ha comprobado que al usarse crean hormigones ligeros de buena resistencia (Álvarez, 2012).

Imagen 2.7 Piedra Pómez



Fuente: Saber.com

Imagen 2.8 Cenizas Volcánicas



Fuente: Eismann,2004

Según Neville (2013), indica que los agregados artificiales o fabricados al tener una gran variedad de nombres se los ha clasificado según la materia prima y el método que se emplea para elaborarlos los cuales causan expansión y reducen el peso específico en gran valor. Los agregados para hormigones de peso ligero estructurales más conocidos, son los que se fabrican a partir de pizarras expandidas, arcillas expansivas y lutita.

Existen otros tipos de agregados de peso ligero a base de vermiculita y perlita pero la diferencia con los agregados mencionados anteriormente es que los hormigones elaborados no llegan a cumplir las especificaciones para hormigones estructurales, sino son utilizados para la fabricación de mampostería o aislamiento térmico acústico (Neville, 2013).

Imagen 2.9 Arcilla Expandida



Fuente: Arlita, 2002

Imagen 2.10 Vermiculita.



Fuente: GEO,2012

a. Hormigones sin Finos

Es otra forma de realizar hormigones de peso ligero, omitiendo el agregado fino, es decir es compuesta únicamente por agua, cemento y que al no poseer el agregado grueso, el hormigón tendrá un considerado número de poros que son los responsables de su baja resistencia (Neville, 2013).

La densidad del hormigón sin finos, principalmente dependerá de la granulometría del agregado y se calculará simplemente con la suma de las densidades aparentes del cemento, agua y agregado grueso. Si se utiliza agregados de peso normal las densidades del hormigón sin finos varían entre 1600 y 2000 kg/m³, pero si se usa agregados de peso ligero con densidad de 640 kg/m³. Mientras la resistencia a la compresión varía entre 1.5 – 14 MPa y dependerá de la densidad del hormigón y cantidad de cemento (Fraay, 1989)

Imagen 2.11 Hormigón sin Finos



Fuente: Pagina web: <https://www.allanblock.com/espa%C3%B1ol/concreto-sin-finos.aspx>.

Por la gran cantidad de poros que posee este hormigón es usado en pavimentos de parques alrededor de árboles para proveerles de agua y en estacionamientos domésticos como sobrecapa en una subrasante permeable. Además, se utiliza como relleno en estructuras de marco y muros que no soportan carga de edificaciones (Horiguchi, 1994).

b. Hormigones Aireados

Son los cuales, introduciendo aire u otro gas en el proceso de elaboración del hormigón, en el interior de la lechada, formando burbujas de gran tamaño en distintas porciones y diámetros, mejoran las propiedades de los hormigones de peso normal. Existen diferentes técnicas para elaborar este tipo de hormigones es por eso que al hormigón aireado se lo conoce como hormigón celular, espumoso o gaseoso (Álvarez, 2012).

Este tipo de hormigón ligero no se los utiliza para elementos estructurales, debido a la poca adherencia que tiene con el acero. Se los fabrica en formas de bloque y son usados para muros que no soporten carga, pistas de aviación, carreteras y techos (Rixom, 1984).

Imagen 2.12 Hormigón Aireado.



Fuente: Depositphotos.

2.5.1.2 Resistencia a la Tracción y Modulo de Rotura

Para resistencias a compresión que se encuentran en el rango entre 70 y 350 kg/cm², los resultados de la resistencia a la tracción por el método brasileño tienden a variar de 17 a 39 kg/cm² (Castro y Paredes, 2015).

2.5.1.3 Módulo de Elasticidad

Para la misma resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad de un hormigón liviano es menor al de peso normal. Existen hormigones de peso ligero que llega a tener 1/3 del valor de un hormigón tradicional, pero esto depende del tipo de metodología usada y para que se utilice el hormigón de baja densidad. Por lo cual en obras

de gran envergadura se debe realizar el ensayo del módulo para encontrar el valor real (Castro y Paredes, 2015).

2.5.2 Ventajas de los Hormigones Ligeros

Según Castro y Paredes (2015), el uso de los hormigones de baja densidad en la Ingeniería Civil ayuda a optimizar varios sectores los cuales son: diseños estructurales, procesos constructivos, disminución de tiempos, ahorro de costos, reducción en el impacto ambiental, entre otros. Al diseñar con hormigones livianos los elementos soportan cargas de menor peso lo que determina una reducción del tamaño de las cimentaciones, de igual forma, se reduce los costos al utilizar en elementos prefabricados. La colocación y acabado son mucho más rápidos tienen mayor resistencia al fuego y muy buen aislamiento térmico y acústico (Castro y Paredes, 2015).

2.5.3 Hormigón con Poliestireno Expandido

El poliestireno expandido es producido y usado generalmente como embalaje, la mayor producción está destinada para ese uso (Vera, 2013). El único continente que produce EPS principalmente para el sector de la construcción es Europa y la industria destina para ello es European Manufacturers of Expanded Polystyrene (EUMEPS) (Vera, 2013). Es así como el poliestireno expandido ha empezado a entrar en el sector de la construcción principalmente en:

- Paneles de revestimiento
- Bloques portantes
- Estructuras marinas flotantes
- Material de sub-base para pavimentos
- Aislamiento térmico y acústicos
- Líneas ferroviarias (Vera, 2013).

Vera (2013), añade que el poliestireno expandido se lo está utilizando como mecanismo de alivianamiento en losas, a pesar de que, está muy utilizado en varios sectores de la construcción, en sí el poliestireno expandido como agregado de un hormigón sigue en etapa de investigación. Lai (1996), afirma que las ventajas del hormigón con poliestireno expandido son las siguientes: “Con elementos prefabricados de hormigón aligerado con EPS, son más fáciles de manipular debido a su ligereza. Edificios que se encuentran sujetos a impactos o carga dinámica, resultan beneficiados por la capacidad de absorción de energía del hormigón con EPS” (Lai, 1996: 28)

CAPITULO III

3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

En la investigación, se abarcó las siguientes etapas para su desarrollo:

En la primera etapa, se recopiló el material bibliográfico referente al hormigón, hormigón alivianado y poliestireno expandido para así conocer sus características físico-mecánicas, al igual que su comportamiento frente al hormigón.

Los materiales utilizados fueron obtenidos de la mina Holcim del sector Pifo, el cemento Portland Hidráulico Tipo IP-GU. Estos se los ensayó para su caracterización en el Laboratorio de Materiales de Construcción y Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la PUCE. Las perlas de poliestireno expandido fueron proporcionados por la empresa “POLIEXPANDIDOS CIA LTDA”.

Se procedió a realizar dos tipos de hormigones tradicionales con diferentes resistencias a la compresión, posteriormente se reemplazó diferentes porcentajes de agregado fino por perlas de poliestireno expandido, realizando 10 dosificaciones como se indica en la tabla 3.1 dando un total de 10 dosificaciones.

Tabla 3. 1 Porcentajes de Poliestireno Expandido

% A.FINO	% EPS
100%	0%
80%	20%
70%	30%
60%	40%
50%	50%

Fuente: Propia.

En cada una de las dosificaciones se fabricaron 5 cilindros para el ensayo de compresión y módulo de elasticidad, 5 para el ensayo de tracción (Ensayo Brasilerero) y 3 briquetas para el ensayo de flexión en vigas, completando un total de 100 cilindros y 30 briquetas. Los ensayos fueron realizados a los 28 días de su fabricación.

Con los resultados obtenidos en los ensayos ya mencionados, se procedió a los cálculos respectivos con cuyos valores se realizaron tablas y curvas de regresión y correlación para llegar a las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

3.1 Dosificación del Hormigón de Peso Normal

La dosificación del hormigón tiene como objetivo encontrar las proporciones adecuadas en que se debe mezclar los distintos componentes, para conseguir hormigones que cumplan con ciertas características de resistencia, durabilidad, consistencia, etc. Al existir tantas variables que afectan en las características del hormigón que se desea obtener, existen algunos métodos de dosificación y escoger el método que se utilizará depende de las condiciones de los agregados y las condiciones de la mezcla.

Para la presente investigación se escogió el METODO ACI 211.1(Modificado), que sirve para diseños de resistencias a la compresión no mayores a los 42 MPa, el método consta de los siguientes pasos:

- i) Se escoge el asentamiento, para lo cual el ACI recomienda valores de acuerdo al tipo de construcción.

Tabla 3. 2 Asentamientos recomendados

Construcción de Concreto	Revenimiento, mm (in)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75 (3)	25 (1)
Zapatas , cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Hormigón en masa	75 (3)	25 (1)

Fuente: 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.

- ii) Con la resistencia a la compresión requerida, se obtiene la resistencia de diseño, igualmente el ACI proporciona una tabla de valores recomendados para la relación agua/cemento y la resistencia al esfuerzo de diseño a

compresión a la edad de 28 días, para lo cual se ingresa con una resistencia de diseño:

$$f'c(\text{Diseño})=f'c(\text{Requerido})*(1+\% \text{ Seg.}/100)$$

El % de Seguridad varía entre 3%-12% depende de las condiciones de obra y materiales.

Tabla 3. 3 Relación Agua/Cemento y Resistencia a la Compresión

Resistencia a la compresión de diseño a los 28 días kg/cm ² (MPa)	Relación agua- material cementante en masa	
	Cemento Portland (ACI 211.1)	Cemento Modificado IP, (Ing. Lauro Lara)
400 (40)	0,42	0,33
350 (35)	0,47	0,38
300 (30)	0,54	0,43
250 (25)	0,61	0,5
200 (20)	0,69	0,58
150 (15)	0,79	0,67

Fuente: Método ACI 211.1.

- iii) Tamaño Máximo Nominal: Según ACI define que no debe no debe superar al menor de: 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado; 1/3 al espesor de las losas; 3/4 del espaciamiento mínimo libre especificado entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, refuerzo preesforzado, tendones individuales, paquetes de tendones, o ductos.
- iv) Cantidad de Agua Neta: Esta en función del asentamiento requerido, tamaño máximo nominal y si el hormigón presenta o no aire incluido.

Imágen 3. 1 Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

* Estas cantidades de agua de mezcla son para utilizarse en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.
 † El revenimiento (asentamiento) del concreto conteniendo agregado mayor que 37.5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37.5 mm, a través de cribado húmedo.
 ‡ Las especificaciones de obra deben especificar un contenido de aire en el concreto entregado en la obra dentro -1 +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposiciones moderada y severa.
 § adaptada del ACI 211.1 y del ACI 318. Hover (1995) presenta esta información en la forma de gráfico.

Fuente: Método ACI 211.1.

v) Cantidad de Cemento: Definida por la relación agua/cemento y la cantidad

$$\text{de agua: } \text{Cemento} = \frac{\text{Agua Neta}}{\text{Rel.A/C}}$$

vi) Cantidades de Agregado Fino y Grueso: Se obtiene un promedio entre las gravedades específicas saturadas de los dos agregados, con lo que calculamos la cantidad de agregados a utilizar a partir del peso unitario teórico del hormigón(Um).

De acuerdo a las características granulométricas de los agregados, se estima un porcentaje de agregado fino y grueso. Para la mezcla los porcentajes se pueden obtener mediante la ayuda del módulo de finura aplicando las fórmulas (1) y (2), en la práctica se debe observar que la cantidad de pasta sea adecuada, que no exista escurrimiento y segregación; cuando se produce este problema se corrigen los % de materiales, se aumenta el agregado fino y se disminuye el agregado grueso.

$$\text{Agregados (sss)} = \text{Um} - \text{Cemento} - \text{Agua neta} \quad (3)$$

$$\text{Um} = 10\text{Ga}(100-\text{A}) + \text{Cm}(1-\text{Ga}/\text{Gc}) - \text{Wm}(\text{Ga} - 1) \quad (4)$$

Donde:

$$\text{Um} = \text{Peso unitario del Hormigón fresco, Kg/m}^3$$

$$\text{Ga} = \text{Gravedad específica(sss)promedio del agregado}$$

grueso y fino combinado

$G_c = \text{Gravedad específica del cemento}$

$A = \text{Porcentaje de aire atrapado}$

$W_m = \text{Cantidad de agua neta, Kg/m}^3$

$C_m = \text{Cantidad de cemento, Kg/m}^3$

$$\text{Agregado Fino(sss)} = X * \text{Agregados (sss)} \quad (5)$$

$$\text{Agregado Grueso(sss)} = Y * \text{Agregados (sss)} \quad (6)$$

Donde:

$X = \% \text{ de agregado fino en la mezcla}$

$Y = \% \text{ de agregado grueso en la mezcla}$

Humedad y Absorción: La mezcla del hormigón finalmente se corrige por las humedades en los agregados y su absorción, ya que afecta directamente al agua de la mezcla.

$$\text{Agr. (nat)} = \text{Agr.(s)} * (1 + \% \text{ HN}/100) \quad (7)$$

$$\text{Agr. (s)} = \text{Agr.(sss)} / (1 + \% \text{ Ab}/100) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Agua mezcla} = & \text{Agua neta} + \text{Afino(s)}(\% \text{ Ab} - \% \text{ HN})/100 + \\ & \text{Agrueso(s)}(\% \text{ Ab} - \% \text{ HN})/100 \end{aligned} \quad (9)$$

Donde:

$\text{Agr. (nat)} = \text{Agregado natural}$

$\% \text{ HN} = \% \text{ de Humedad Natural}$

$\% \text{ Ab} = \% \text{ de Absorción}$

3.1.1 Dosificación para un hormigón de peso normal $f'c = 240\text{kg/cm}^2$ y $f'c = 280\text{kg/cm}^2$

En las dosificaciones se trabajó para conseguir un hormigón de uso común, el cual tendrá un asentamiento entre 75 y 100 milímetros, sin embargo, la dosificación se realizó para un asentamiento de 80 +/- 10 milímetros. Luego de la primera mezcla se debe comprobar si el peso unitario real y el asentamiento es igual o se aproxima al esperado, de no ser el caso se realiza una restimación del agua neta la cual implica correcciones por los dos parámetros previamente mencionados se aplica la siguiente fórmula:

1. Corrección por peso unitario: Factor de corrección=Peso unitario esperado/Peso unitario obtenido

2. Corrección por asentamiento: Por cada centímetro de asentamiento menor al asentamiento esperado, se deben incrementar 2Kg de agua/metro cúbico de hormigón. Por cada centímetro en exceso de asentamiento con respecto al asentamiento esperado, se deben reducir 2Kg de agua/metro cúbico de hormigón

Agua neta corregida = Agua neta/factor de corrección+2*(asentamiento requerido - asentamiento obtenido)

Esta restimación se lo realiza cuantas veces sea necesario hasta alcanzar o aproximarse a los pesos unitarios y asentamientos esperados.

Tabla 3. 4 Dosificación $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2 - 0\%$		
Cemento	417	kg/m ³
Ripio	752	kg/m ³
Arena	810	kg/m ³
Agua	273	kg/m ³

Fuente: Propia.

Tabla 3. 5 Dosificación $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2 - 0\%$		
Cemento	484	kg/m ³
Ripio	745	kg/m ³
Arena	801	kg/m ³
Agua	277	kg/m ³

Fuente: Propia.

3.2 Dosificación del Hormigón con Poliestireno Expandido

El poliestireno expandido utilizado en la investigación es un material en forma de perlas con una densidad de 20kg/m^3 , con referencia a la hoja técnica que se encuentra en el Anexo 1.

Para la dosificación del hormigón con poliestireno expandido partimos de los resúmenes de las dos dosificaciones de $f'c=240\text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280\text{ kg/cm}^2$, para realizar el reemplazo de agregado fino por los distintos porcentajes de poliestireno previamente mencionados, realizamos el siguiente procedimiento:

- i) Se transforma el peso del agregado fino a volumen.

$$Vf = \frac{Pf}{Gf * 1000} \quad (10)$$

Donde:

$Vf = \text{Volumen del Agregado Fino (m}^3\text{)}$

$Pf = \text{Peso del Agregado Fino para } 1\text{m}^3 \text{ de hormigón (kg)}$

$Gf = \text{Gravedad específica del Agregado Fino}$

- ii) Utilizando el porcentaje de poliestireno expandido que se reemplazara al agregado fino, utilizamos la siguiente ecuación para encontrar el volumen de poliestireno.

$$Vp = Pp * (Vf) \quad (11)$$

Donde:

$Vp = \text{Volumen de Poliestireno Expandido (m}^3\text{)}$

$Pp = \text{Porcentaje de Poliestireno Expandido (\%)}$

$Vf = \text{Volumen del Agregado Fino (m}^3\text{)}$

- iii) Al volumen del poliestireno expandido obtenido, se lo multiplica por la gravedad específica del mismo y se encuentra el peso de poliestireno expandido requerido para la mezcla.

$$Ppe = Vp * Dp \quad (12)$$

Donde:

P_{pe} = Peso de EPS para $1m^3$ de hormigón (kg)

V_p = Volumen de Poliestireno Expandido (m^3)

D_p = Densidad del Poliestireno Expandido (kg/m^3)

iv) Para calcular el nuevo peso de agregado fino se aplicó la siguiente fórmula:

$$N_{pf} = (V_f - V_p) * G_f * 1000 \quad (13)$$

Donde:

N_{pf} = Nuevo peso de agregado fino para $1m^3$ (kg)

V_f = Volumen de agregado fino (m^3)

V_p = Volumen de Poliestireno Expandido (m^3)

G_f = Gravedad específica del agregado fino

Tabla 3. 6 Dosificación $f'c = 240-20 \text{ Kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2 - 20\%$		
Cemento	417	kg/m^3
Ripio	779	kg/m^3
Arena	670	kg/m^3
Agua	275	kg/m^3
Poliestireno Expandido	1,37	kg/m^3

Fuente: Propia.

Tabla 3. 7 Dosificación $f'c = 280-20 \text{ Kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2 - 20\%$		
Cemento	484	kg/m^3
Ripio	745	kg/m^3
Arena	641	kg/m^3
Agua	275	kg/m^3
Poliestireno Expandido	1,31	kg/m^3

Fuente: Propia.

Tabla 3. 8 Dosificación $f'c = 240-30 \text{ Kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2 - 30\%$		
Cemento	417	kg/m ³
Ripio	779	kg/m ³
Arena	587	kg/m ³
Agua	275	kg/m ³
Poliestireno Expandido	2,06	kg/m ³

Fuente: Propia.

Tabla 3. 9 Dosificación $f'c = 280-30 \text{ Kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2 - 30\%$		
Cemento	484	kg/m ³
Ripio	745	kg/m ³
Arena	561	kg/m ³
Agua	275	kg/m ³
Poliestireno Expandido	1,97	kg/m ³

Fuente: Propia.

Tabla 3. 10 Dosificación $f'c = 240-40 \text{ Kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2 - 40\%$		
Cemento	417	kg/m ³
Ripio	779	kg/m ³
Arena	503	kg/m ³
Agua	275	kg/m ³
Poliestireno Expandido	2,75	kg/m ³

Fuente: Propia.

Tabla 3. 11 Dosificación $f'c = 280-40 \text{ Kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2 - 40\%$		
Cemento	484	kg/m ³
Ripio	745	kg/m ³
Arena	481	kg/m ³
Agua	275	kg/m ³
Poliestireno Expandido	2,63	kg/m ³

Fuente: Propia.

Tabla 3. 12 Dosificación $f'c = 240-50 \text{ Kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2 - 50\%$		
Cemento	417	kg/m ³
Ripio	779	kg/m ³
Arena	419	kg/m ³
Agua	275	kg/m ³
Poliestireno Expandido	3,43	kg/m ³

Fuente: Propia.

Tabla 3. 13 Dosificación $f'c = 280-50 \text{ Kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2 - 50\%$		
Cemento	484	kg/m ³
Ripio	745	kg/m ³
Arena	401	kg/m ³
Agua	275	kg/m ³
Poliestireno Expandido	3,28	kg/m ³

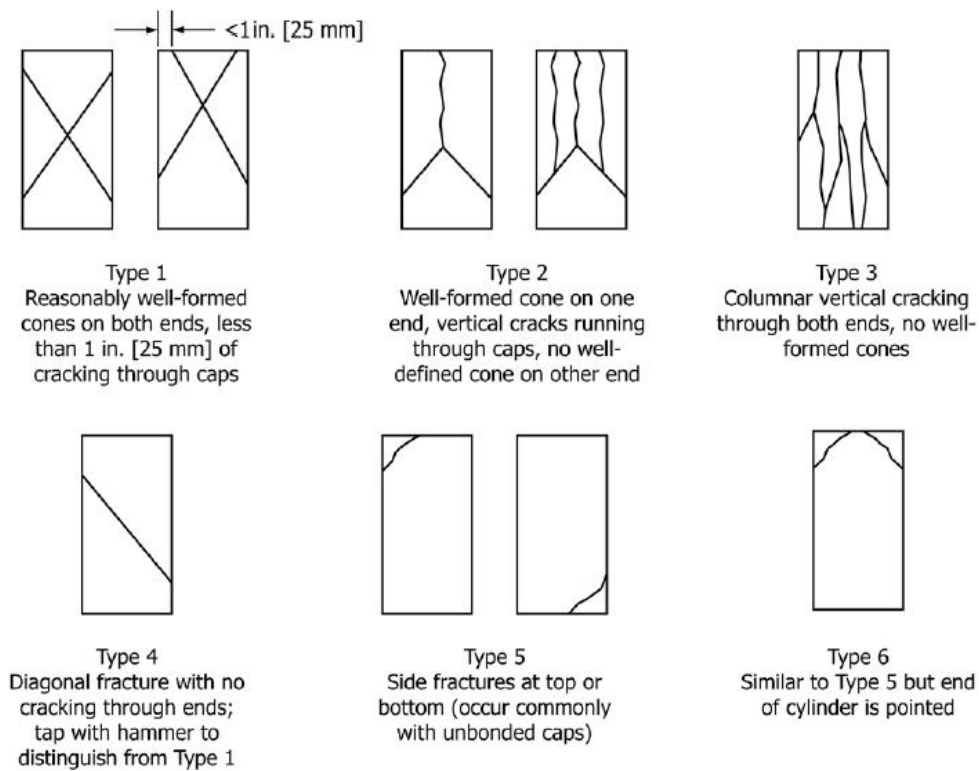
Fuente: Propia.

3.3 Compresión del Hormigón

La resistencia a la compresión es una de las características mecánicas de mayor relevancia del hormigón, gracias a que las estructuras son principalmente diseñadas para resistir esfuerzos a compresión (INEN, 2010).

Este ensayo consiste en someter una muestra cilíndrica de dimensiones estandarizadas, de una longitud de 30cm y un diámetro de 15cm, a una carga aplicada axialmente con una velocidad que se encuentra dentro del rango de 0.34 – 0.14 MPa/seg hasta que ocurra a la falla o rotura en la muestra, para así determinar la carga máxima soportada y con esta calcular la resistencia a la compresión; dividiendo la carga máxima alcanzada para el área de la sección transversal de la muestra (INEN, 2010).

Imágen 3. 2 Tipos de falla en ensayo de compresión simple.



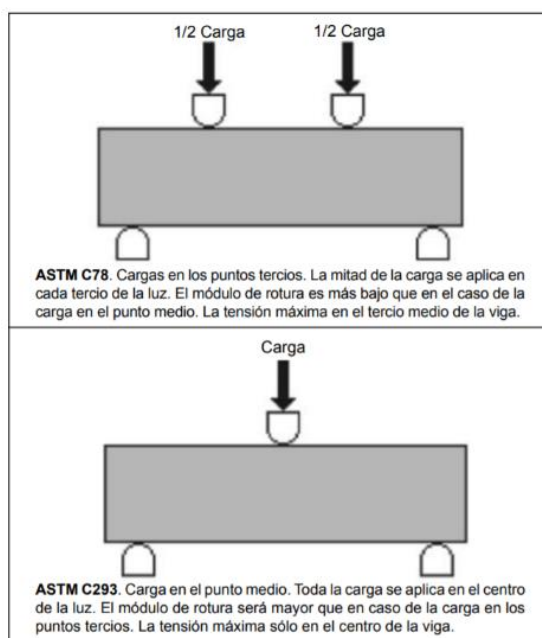
Fuente: Norma ASTM C39

3.4 Tracción por Flexión en Vigas

El INEN (2011), indica que la resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón, una media de la resistencia a la falla por momento de una viga de hormigón no reforzada. La cual se expresa como el Módulo de Rotura en MPa.

La resistencia a la flexión se determina por el Modulo de Rotura, según las expresiones que se indican en la norma ASTM C78 (Método Tres Puntos), el cual consiste en; una viga de hormigón apoyada libremente en los extremos, siendo cargada en los tercios de la luz libre, donde se estima el momento máximo hasta que ocurra la rotura del espécimen (INEN, 2011). El porcentaje del Módulo de Rotura se encuentra entre el 10%-20% de la resistencia obtenida en el ensayo a compresión (INEN, 2011).

Imágen 3. 3 Longitudes de aplicación de carga en el ensayo según la metodología indicada.



Fuente: Concreto, I. E. (2009). Inecyc.org.ec

Cálculo del Módulo de Rotura

$$MR = \frac{P*L}{b*d^2} \quad (14)$$

Donde:

P = Carga máxima aplicada en MPa.

L = Luz libre en mm.

b = Promedio del ancho en mm.

d = Promedio de la altura en mm.

3.5 Tracción en Cilindros (Método Brasileño)

La Resistencia a la tracción por compresión diametral es utilizada en el diseño estructural de elementos de hormigón liviano, para evaluar la resistencia al corte del hormigón y determinar la longitud de desarrollo del esfuerzo (INEN. 2013).

Este ensayo nos permite conocer el esfuerzo de tracción máximo de una muestra cilíndrica al aplicar una fuerza de compresión a lo largo de la longitud del cilindro de

hormigón hasta que ocurra la falla. Esta carga induce esfuerzos de tracción en el plano que contiene la carga aplicada como también esfuerzos de compresión relativamente altos en el área circundante a la carga aplicada (Norma ASTM C 496) (INEN. 2013).

Cálculo de la resistencia a tracción por compresión diametral

$$T = \frac{2P}{\pi ld} \quad (15)$$

Donde:

$P =$ Carga máxima aplicada en MPa.

$l =$ Longitud en mm.

$d =$ Diámetro en mm

3.6 Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad de un material se define como la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria que produce (Páez, 2018). Es un parámetro que representa la rigidez que posee un cuerpo, en el caso del hormigón no es totalmente elástico, pero en estado endurecido la curva esfuerzo de compresión-deformación es una recta dentro del rango de los esfuerzos de trabajo (Páez, 2018).

Páez (2018), señala que el diseño del hormigón es un valor de gran importancia debido a que influyen en las derivadas, deflexiones y rigidez de la estructura o elemento estructural. Las deformaciones que soportan las estructuras son producidas por el peso propio y las cargas de servicio. El uso de hormigón como principal material utilizado para la construcción hace fundamental conocer las propiedades mecánicas para tener diseños adecuados y así optimizar recursos (Páez, 2018).

Para el cálculo del módulo de elasticidad se calculó de la siguiente manera:

$$E = \frac{fc1 - fc2}{E2 - 0.00050} \quad (16)$$

Donde:

$E = \text{Módulo de Elasticidad}$

$F_c = \text{Esfuerzo correspondiente deformación longitudinal de 50 millonesimas}$

$f_{c2} = \text{Esfuerzo correspondiente al 40\% del esfuerzo último}$

$E_2 = \text{Deformación unitaria producida por } f_{c1}$

El ACI (1989), recomienda la siguiente ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad:

$$E(ACI) = 4270 * W^{1.5} * \sqrt{f'_c} \quad (17)$$

Donde:

$E(ACI) = \text{Módulo de Elasticidad}$

$W^{1.5} = \text{Peso específico}$

$F'_c = \text{Esfuerzo máximo de compresión}$

Conociendo los valores previamente calculados encontramos una expresión general la cual será igual a:

$$\lambda = \frac{\alpha}{W^{1.5}} \quad (18)$$

Y donde α es igual a:

$$\alpha = \frac{E_c}{\sqrt{f'_c}} \quad (19)$$

Los parámetros α y λ son valores que nos sirven para comparar el valor de los módulos del ACI.

CAPITULO IV

4. CALCULOS Y RESULTADOS

4.1 Ensayos de Áridos

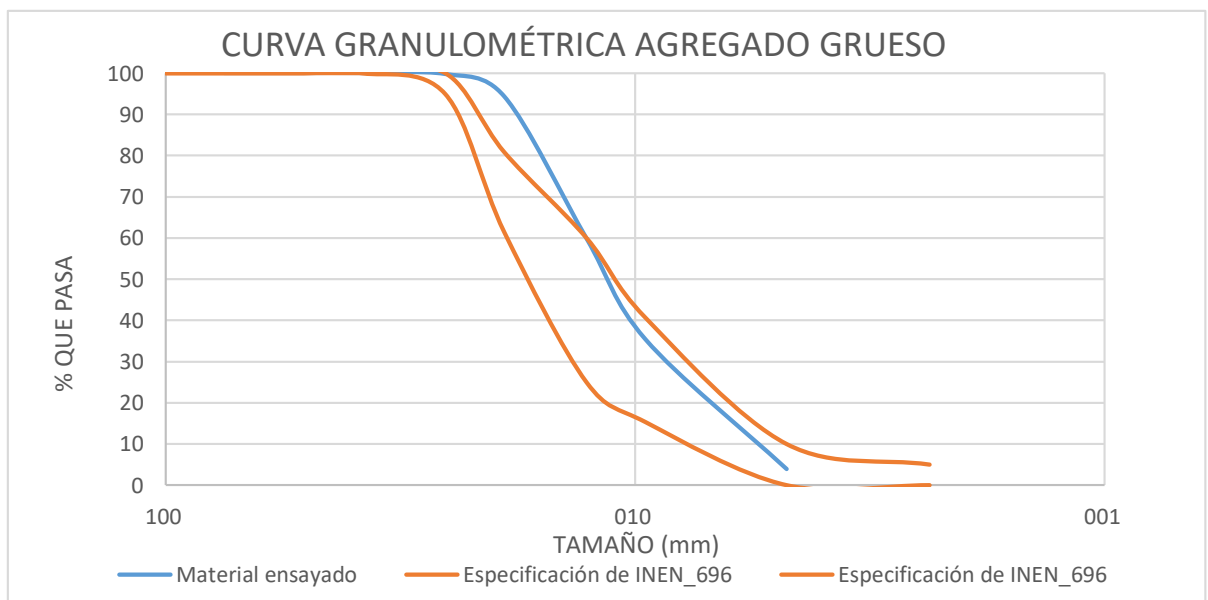
4.1.1. Granulometría (INEN 696)

Tabla 4. 1 Granulometría del Agregado Grueso

Granulometría por Mallas Agregado Grueso								
Tamiz N°	Abertura (mm)	Masa Retenido Parcial (g)	Masa Retenida Acumulada (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje que Pasa (%)	Porcentaje que pasa (%)		Comprobación INEN 696
						Mínimo	Máximo	
1	25.4	40	40	0,2484	99,7516	95,0	100,0	Cumple
3/4	19.0	880	920	5,7143	94,2857	61,4	80,8	No Cumple
1/2	12.7	5540	6460	40,1242	59,8758	25,0	60,0	Cumple
3/8	9.51	3940	10400	64,5963	35,4037	15,3	40,7	Cumple
4	4.78	5060	15460	96,0248	3,9752	0,0	10,0	Cumple
Pasa N°4		640	16100	100	0			
Total		16100						
				MF	6,67			

Fuente: Propia.

Gráfica 4. 1 Curva Granulométrica Agregado Grueso.



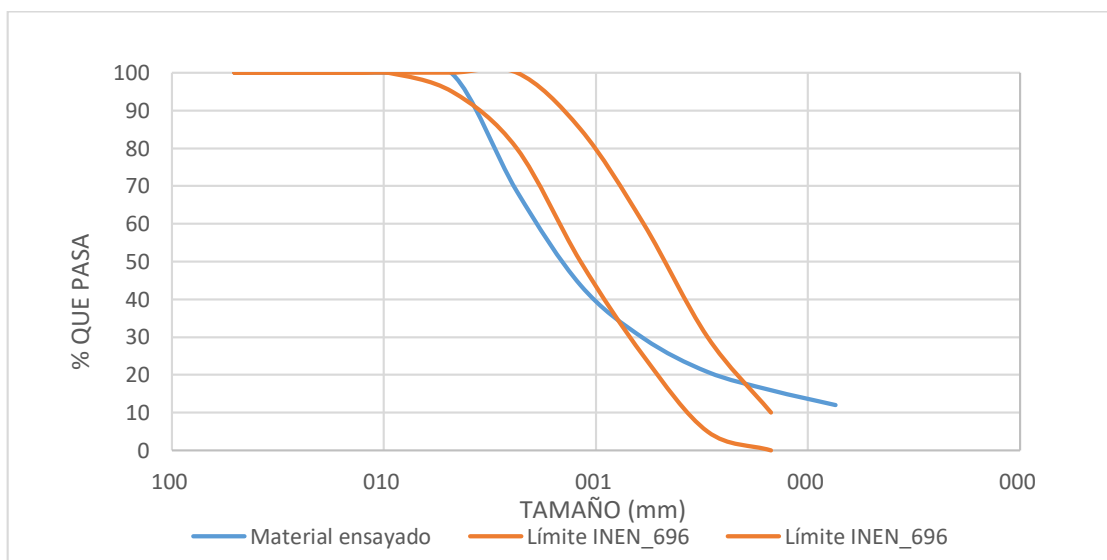
Fuente: Propia.

Tabla 4. 2 Granulometría del Agregado Fino

Granulometría por Mallas Agregado Fino								
Tamiz N°	Abertura (mm)	Masa Retenido Parcial (g)	Masa Retenida Acumulada (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje que Pasa (%)	Porcentaje que Pasa (%)		Comprobación INEN 696
						Mínimo	Máximo	
4	4.76	2,5	2,5	0,3259	99,6741	95	100	Cumple
8	2.36	238,4	240,9	31,4081	68,5919	80	100	Cumple
16	1.18	190,8	431,7	56,2842	43,7158	50	85	No cumple
30	0.60	107,7	539,4	70,3259	29,6741	25	60	Cumple
50	0.30	68,1	607,5	79,2047	20,7953	5	30	Cumple
100	0.15	37,1	644,6	84,0417	15,9583	0	10	No cumple
200	0.075	30,1	674,7	87,9661	12,0339	0	7	No cumple
Pasa N°200		37,3	712	92,8292	7,1708			
Bandeja		55	767	100	0			
Total		767						
				MF	3,22			

Fuente: Propia.

Gráfica 4. 2 Curva Granulométrica del Agregado Fino.



Fuente: Propia.

4.1.2 Material Natural que pasa el Tamiz N°200 (NTE INEN 697)

Tabla 4. 3 Material Fino que pasa el Tamiz N° 200.

Material Fino que pasa el Tamiz N° 200			
Masa inicial de la muestra (g)	Masa retenida en el Tamiz N°200 (g)	Porcentaje que pasa el Tamiz N°200	Límite máximo según 7 (INEN 695)
367,8	317.67	13,63	No Cumple

Fuente: Propia

4.1.3. Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (NTE INEN 856-857)

Tabla 4. 4 Gravedad Específica y Absorción Del Agregado Fino

Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino								
Masa del Matraz(g)	Muestra+ Agua+ Matraz(g)	Masa Muestra SSS(g)	Masa Muestra Seca(g)	Masa Agua Añadida(g)	Ge(Bulk)	Ge(SSS)	Ge(Aparente)	%Absorción
158,8	961,7	506,9	482	302,3	2,44	2,56	2,69	5,17

Fuente: Propia

Tabla 4. 5 Gravedad Específica y Absorción Del Agregado Grueso

Gravedad Específica y Absorción Del Agregado Grueso						
Masa SSS (g)	Masa Seca (g)	Masa Sumergida (g)	Gravedad específica Bulk	Gravedad específica SSS	Gravedad específica aparente	Absorción
5675	5456	3522	2,53	2,63	2,82	4,01%

Fuente: Propia

4.1.4 Peso Unitario (NTE INEN 858)

Tabla 4. 6 Peso Unitario de los Agregados

Peso Unitario de los Agregados							
Agregado	Masa molde (Kg)	Volumen molde (cm3)	Molde + Mat. Compacto (Kg)	Molde + Mat. Suelto (Kg)	Peso Unitario Suelto (Kg/m3)	Peso Unitario Compacto (Kg/m3)	Vacíos (%)
Fino	5,05	2980	10,39	9,95	1644,3	1791,95	32,50%
Grueso	8,53	9950	22,92	21,62	1315,58	1446,23	43,80%

Fuente: Propia

4.1.5 Equivalente de Arena (AASHTO T 176)

Tabla 4. 7 Equivalente de Arena

Equivalente de Arena		
Nº	1	2
Lectura Inicio	3,8	3,5
Lectura Fin	5,3	4,5
Equivalente	72	78
Promedio	75	

Fuente: Propia

4.1.6 Contenido Orgánico (NTE INEN 855)

Tabla 4. 8 Contenido Orgánico

Contenido Orgánico	
Número en la Escala	Comprobación INEN 855 (< 3)
≤ 2	Cumple

Fuente: Propia

4.1.7 Terrones de Arcilla (NTE INEN 698)

Tabla 4. 9 Terrones de Arcilla en Agregado Grueso.

Porcentaje de Terrones de Arcilla			
Masa antes del Ensayo(g)	Masa después del Ensayo(g)	%Terrones de Arcilla	Comprobación INEN (%<5%)
369,8	368,1	0,4597	Cumple

Fuente: Propia

4.1.8 Abrasión del Agregado Grueso (NTE INEN 860)

Tabla 4. 10 Abrasión del Agregado Grueso

Desgaste del Agregado Grueso en la Máquina de los Ángeles				
Abrasión Tipo	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Abrasión (%)	Comprobación NTE INEN 860 (% < 50)
B	5000	3605	27,90%	OK

Fuente: Propia.

4.1.10 Durabilidad a la Acción de los Sulfatos (NTE INEN 863)

Tabla 4. 11 Durabilidad al Acción de los Sulfatos del Agregado Grueso

Durabilidad del Agregado Grueso a la Acción de los Sulfatos							
Tamiz N°		% Porcentaje Parcial Retenido	Masa de Fracciones antes del Ensayo(g)	Masa de Fracciones después del Ensayo(g)	% Que pasa el Tamiz más Fino Después del Ensayo	% De Degaste Parcial	Comprobación INEN (%<12%)
Pasa	Retiene						
3/4	3/8	58,88	999,6	974,9	2,471	1,4549	Cumple
3/4	1/2	34,4	674,5	635,8	5,7376	1,9737	Cumple
1/2	3/8	24,47	334,4	321,1	3,9773	0,9732	Cumple
% De Degaste Total						4,4019	Cumple

Fuente: Propia.

Tabla 4. 12 Durabilidad al Acción de los Sulfatos del Agregado Fino

Durabilidad del Agregado Fino a la Acción de los Sulfatos					
% Porcentaje Parcial Retenido	Masa de Fracciones antes del Ensayo(g)	Masa de Fracciones después del Ensayo(g)	% Que pasa el Tamiz más Fino Después del Ensayo	% De Degaste Parcial	Comprobación INEN (%<12%)
22,3	100,7	97,2	3,4757	0,7751	Cumple

Fuente: Propia

4.2 Ensayos de Cementos

4.2.1 Consistencia Normal del Cemento (NTE INEN 157)

Tabla 4. 13 Consistencia Normal del Cemento

Consistencia Normal del Cemento					
Muestras	Cemento (gr)	Agua(gr)	Relación A/C	Penetración(mm)	Comprobación INEN (<10±1 mm)
1	650	199	0,31	9	Cumple
2	650	208	0,32	10	Cumple

Fuente: Propia.

4.2.2. Tiempo de Fraguado (NTE INEN 158)

Tabla 4. 14 Tiempo de Fraguado

Tiempo de Fraguado			
Cemento(gr)	650	Comprobación INEN 187 (45-420)min	
Agua(gr)	182		
Hora de Inicio del ensayo(hrs)	9:38		
Tiempo de Fraguado Inicial (min)	11:33	115	Cumple
Tiempo de Fraguado Final (min)	15:42	365	Cumple

Fuente: Propia

4.2.3 Finura Blaine (NTE INEN 196)

Tabla 4. 15 Finura Blaine del cemento

Finura Blaine		
Muestras	Finura (kg/m²)	Comprobación INEN 196 (260-430)
1	305,6	Cumple
2	306,3	Cumple
Promedio	305,95	Cumple

Fuente: Propia

4.2.4 Gravedad Específica (NTE INEN 156)

Tabla 4. 16 Gravedad Específica del Cemento

Gravedad Específica del Cemento		
Muestras	1	2
Masa (g)	64	64
Primera Lectura (cm³)	0,7	0,8
Segunda Lectura (cm³)	22,1	22,5
Gravedad Especifica	2,92	2,9
Promedio (g/cm³)	2,91	

Fuente: Propia

4.2.5 Resistencia a la Compresión de Morteros (NTE INEN 488)

Tabla 4. 17 Resistencia a la Compresión de Morteros en Cemento

Resistencia a la Compresión de Morteros en Cemento						
Muestras	1	2	3	4	5	6
Edad de Rotura (días)	3	3	7	7	28	28
Ancho (mm)	50,1	50,4	51,2	49,7	50,1	51,3
Largo (mm)	49,0	50,3	50,1	51,2	49,6	50,9
Altura (mm)	48,9	49,9	50,2	49,8	49,5	50,3
Área(cm²)	24,6	25,4	25,6	25,5	24,9	26,1
Peso(gr)	272,3	272,5	274,2	274,0	273,3	272,7
Carga(kg)	4408,1	4321,7	6558,8	6476,1	6985,3	7132,9
Resistencia(kg/cm²)	179,6	170,5	255,9	254,5	281,1	273,2
Comprobación Norma INEN 152	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Propia

4.3 Ensayos del Hormigón

4.3.1 Determinación de la Resistencia a la Compresión (NTE INEN 1573)

Compresión de Cilindros

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	0%	Fecha:	30/10/18

Muestra	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Fecha de fabricación	1/10/2018	1/10/2018	1/10/2018	1/10/2018	1/10/2018
Fecha de ensayo	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	150,9	150,7	131,6	150,8	150,9
Diámetro 2 (mm)	152,8	150,8	151,7	150,02	152,8
Altura 1 (mm)	300,5	300,5	303,6	304,6	300,5
Altura 2 (mm)	302,2	299,2	303,9	302,5	302,2
Altura 3 (mm)	300,2	300,1	301,8	301,7	300,2
Masa (Kg)	12,51	12,39	12,62	12,38	12,51
Carga máxima (KN)	430,2	438,9	427,8	426,56	432,32
Tipo de falla	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	300,97	299,93	303,10	302,93	300,97
Diámetro Promedio (mm)	151,85	150,75	141,65	150,41	151,85
Área Promedio (mm ²)	18110,04	17848,62	17808,40	17768,19	18110,04
Resistencia (Kg/cm ²)	242,23	250,75	244,96	244,80	243,43
F'c Promedio (Kg/cm ²)	245,23				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	3,28				
F'c Característico (Kg/cm ²)	240,81				

Compresión de Cilindros

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	20%	Fecha:	05/02/19

Muestra	A1	A2	A3	A4	A5
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	152,27	151,1	151,63	153,6	152,63
Diámetro 2 (mm)	153,29	151,57	152,27	152,3	152,51
Altura 1 (mm)	301,84	302,77	304,16	304,93	303,22
Altura 2 (mm)	303,8	300,55	302,46	303,2	301,91
Altura 3 (mm)	301,62	300,67	303,2	303,9	302,53
Masa (Kg)	11,66	11,55	11,78	11,82	11,75
Carga máxima (KN)	406,70	395,26	404,50	415,37	405,21
Tipo de falla	V	VI	VI	V	V
Altura Promedio (mm)	302,42	301,33	303,27	304,01	302,55
Diámetro Promedio (mm)	152,78	151,34	151,95	152,95	152,57
Área Promedio (mm ²)	18332,55	17987,41	18180,39	18373,37	18282,19
Resistencia (Kg/cm ²)	226,22	224,08	226,88	230,53	226,01
F´c Promedio (Kg/cm ²)	226,74				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	2,36				
F´c Característico (Kg/cm ²)	223,56				

Compresión de Cilindros

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	30%	Fecha:	05/02/19

Muestra	B1	B2	B3	B4	B5
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151,13	153,12	150,1	151,59	152,15
Diámetro 2 (mm)	153,7	153,41	150,4	152,42	151,9
Altura 1 (mm)	302,9	303,11	299,07	303,01	303,05
Altura 2 (mm)	304	307,88	298,8	304,5	303,9
Altura 3 (mm)	303,08	307,06	299,58	303,05	304,7
Masa (Kg)	11,12	11,07	11,2	11,25	11,12
Carga máxima (KN)	372,141	374,71	369,765	368,794	359,36
Tipo de falla	VI	VI	VI	V	V
Altura Promedio (mm)	303,33	306,02	299,15	303,52	303,88
Diámetro Promedio (mm)	152,42	153,27	150,25	152,01	152,03
Área Promedio (mm²)	18245,06	18449,13	18298,08	18147,03	18151,81
Resistencia (Kg/cm²)	207,99	207,11	206,06	207,23	201,88
F´c Promedio (Kg/cm²)	206,06				
Desviación Estándar (Kg/cm²)	2,43				
F´c Característico (Kg/cm²)	202,77				

Compresión de Cilindros

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	40%	Fecha:	05/02/19

Muestra	C1	C2	C3	C4	C5
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	154,11	150,6	153,7	153,87	153,55
Diámetro 2 (mm)	154,58	149,8	153,24	152,82	153,24
Altura 1 (mm)	305,67	298,3	305,45	305,15	303,55
Altura 2 (mm)	305,88	298,7	307,56	307,53	304,59
Altura 3 (mm)	305,4	298,5	304,6	304,22	304,71
Masa (Kg)	11,04	10,68	10,71	10,93	10,85
Carga máxima (KN)	336,174	320,112	327,901	338,65	333,606
Tipo de falla	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	305,65	298,50	305,87	305,63	304,28
Diámetro Promedio (mm)	154,35	150,20	153,47	153,35	153,40
Área Promedio (mm ²)	18710,05	17718,61	18093,50	18468,39	18480,44
Resistencia (Kg/cm ²)	183,22	184,23	184,80	186,98	184,08
F´c Promedio (Kg/cm ²)	184,66				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	1,42				
F´c Característico (Kg/cm ²)	182,75				

Compresión de Cilindros

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F [´] c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	50%	Fecha:	05/02/19

Muestra	D1	D2	D3	D4	D5
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151,3	150,73	152,63	151,11	151,5
Diámetro 2 (mm)	150,9	151,9	150,93	151,79	151,11
Altura 1 (mm)	298,3	303,41	298,14	299,51	299,63
Altura 2 (mm)	298,75	303,72	299,3	301,14	298,42
Altura 3 (mm)	298,71	302,93	298,12	300,9	299,43
Masa (Kg)	9,93	10,52	9,89	10,41	9,96
Carga máxima (KN)	305,91	303,6	303,6	304,2	302,69
Tipo de falla	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	298,59	303,35	298,52	300,52	299,16
Diámetro Promedio (mm)	151,10	151,32	151,78	151,45	151,31
Área Promedio (mm ²)	17931,59	17982,66	17998,71	18014,76	17980,28
Resistencia (Kg/cm ²)	173,96	172,16	172,01	172,19	171,67
F [´] c Promedio (Kg/cm ²)	172,40				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,90				
F [´] c Característico (Kg/cm ²)	171,18				

Compresión de Cilindros

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	0%	Fecha:	13/11/18

Muestra	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
Fecha de fabricación	15/10/2018	15/10/2018	15/10/2018	15/10/2018	15/10/2018
Fecha de ensayo	13/11/2018	13/11/2018	13/11/2018	13/11/2018	13/11/2018
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	149,67	151,87	149,52	150,2	149,48
Diámetro 2 (mm)	149,25	151,43	150,2	151,06	150,2
Altura 1 (mm)	301,47	303,6	304,62	304,62	298,95
Altura 2 (mm)	301,31	303,5	302,95	303,72	299,18
Altura 3 (mm)	301,28	303,5	301,62	301,7	299,01
Masa (Kg)	12,08	12,49	12,26	12,43	12,43
Carga máxima (KN)	484,995	505,191	512,69	511,704	504,084
Tipo de falla	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	301,35	303,53	303,06	303,35	299,05
Diámetro Promedio (mm)	149,46	151,65	149,86	150,63	149,84
Área Promedio (mm ²)	17544,45	18062,37	17638,49	17820,21	17633,78
Resistencia (Kg/cm ²)	281,89	285,21	296,40	292,81	291,50
F´c Promedio (Kg/cm ²)	289,56				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	5,89				
F´c Característico (Kg/cm ²)	281,61				

Compresión de Cilindros

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	20%	Fecha:	06/02/18

Muestra	E1	E2	E3	E4	E5
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151,8	151,96	150,09	150,3	152,13
Diámetro 2 (mm)	151,25	152,94	149,87	150,51	151,9
Altura 1 (mm)	302,61	299,98	300,97	303,41	298,43
Altura 2 (mm)	301,75	301,3	301,43	303,87	297,8
Altura 3 (mm)	302,72	302,1	301,2	304,25	298,63
Masa (Kg)	11,69	11,49	11,58	11,39	11,62
Carga máxima (KN)	465,936	471,912	475,36	455,22	467,954
Tipo de falla	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	302,36	301,13	301,20	303,84	298,29
Diámetro Promedio (mm)	151,53	152,45	149,98	150,41	152,02
Área Promedio (mm ²)	18032,60	18253,44	18010,23	17767,01	18149,42
Resistencia (Kg/cm ²)	263,48	263,63	269,14	261,27	262,92
F'c Promedio (Kg/cm ²)	264,09				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	2,98				
F'c Característico (Kg/cm ²)	260,07				

Compresión de Cilindros

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	30%	Fecha:	06/02/18

Muestra	F1	F2	F3	F4	F5
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	153,9	151,55	151,8	152,94	152,63
Diámetro 2 (mm)	152,8	152,6	150,95	153,74	153,85
Altura 1 (mm)	301,59	301,9	298,69	301,26	305,98
Altura 2 (mm)	303,65	302,8	298,95	300,92	304
Altura 3 (mm)	302,5	301,75	299,17	300,45	303,99
Masa (Kg)	10,94	10,82	11,17	10,89	11,09
Carga máxima (KN)	438,4145	458,4	432,4	440,2	439,736
Tipo de falla	VI	VI	VI	V	V
Altura Promedio (mm)	302,58	302,15	298,94	300,88	304,66
Diámetro Promedio (mm)	153,35	152,08	151,38	153,34	153,24
Área Promedio (mm ²)	18469,60	18163,75	18315,47	18467,19	18443,11
Resistencia (Kg/cm ²)	242,05	257,35	240,74	243,07	243,13
F'c Promedio (Kg/cm ²)	245,27				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	6,82				
F'c Característico (Kg/cm ²)	236,06				

Compresión de Cilindros

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	40%	Fecha:	06/02/18

Muestra	G1	G2	G3	G4	G5
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	150,8	149,48	151,1	150,09	150,73
Diámetro 2 (mm)	150,02	150,2	151,57	149,87	151,9
Altura 1 (mm)	304,6	298,95	302,77	300,97	303,41
Altura 2 (mm)	302,5	299,18	300,55	301,43	303,72
Altura 3 (mm)	301,7	299,01	300,67	301,2	302,93
Masa (Kg)	10,73	10,92	10,65	10,89	10,59
Carga máxima (KN)	384,69	366,72	368,69	370,35	375,927
Tipo de falla	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	302,93	299,05	301,33	301,20	303,35
Diámetro Promedio (mm)	150,41	149,84	151,34	149,98	151,32
Área Promedio (mm ²)	17768,19	17633,78	17650,26	17666,75	17982,66
Resistencia (Kg/cm ²)	220,77	212,07	213,01	213,77	213,17
F'c Promedio (Kg/cm ²)	214,56				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	3,53				
F'c Característico (Kg/cm ²)	209,79				

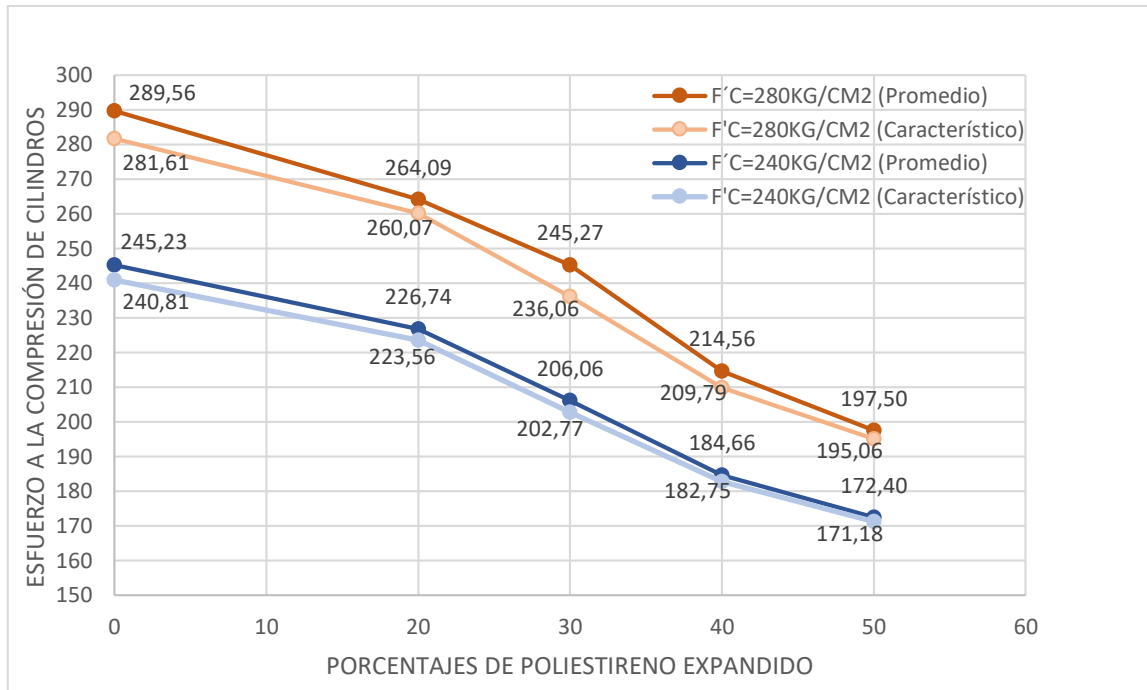
Compresión de Cilindros

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	50%	Fecha:	06/02/18

Muestra	H1	H2	H3	H4	H5
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	153,61	152,41	154,23	152,13	155,01
Diámetro 2 (mm)	152,95	153,7	154,76	152,29	154,5
Altura 1 (mm)	297,3	304,12	300,07	301,95	304,23
Altura 2 (mm)	297,69	300,9	298,97	302,31	306,3
Altura 3 (mm)	298,12	301,42	299,45	302,71	305,76
Masa (Kg)	9,93	10,2	10,14	10,32	9,98
Carga máxima (KN)	356,8	353,238	351,69	354,032	369,15
Tipo de falla	V	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	297,70	302,15	299,50	302,32	305,43
Diámetro Promedio (mm)	153,28	153,06	154,50	152,21	154,76
Área Promedio (mm ²)	18452,74	18398,61	18297,31	18196,01	18809,59
Resistencia (Kg/cm ²)	197,17	195,78	196,00	198,40	200,13
F´c Promedio (Kg/cm ²)	197,50				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	1,81				
F´c Característico (Kg/cm ²)	195,06				

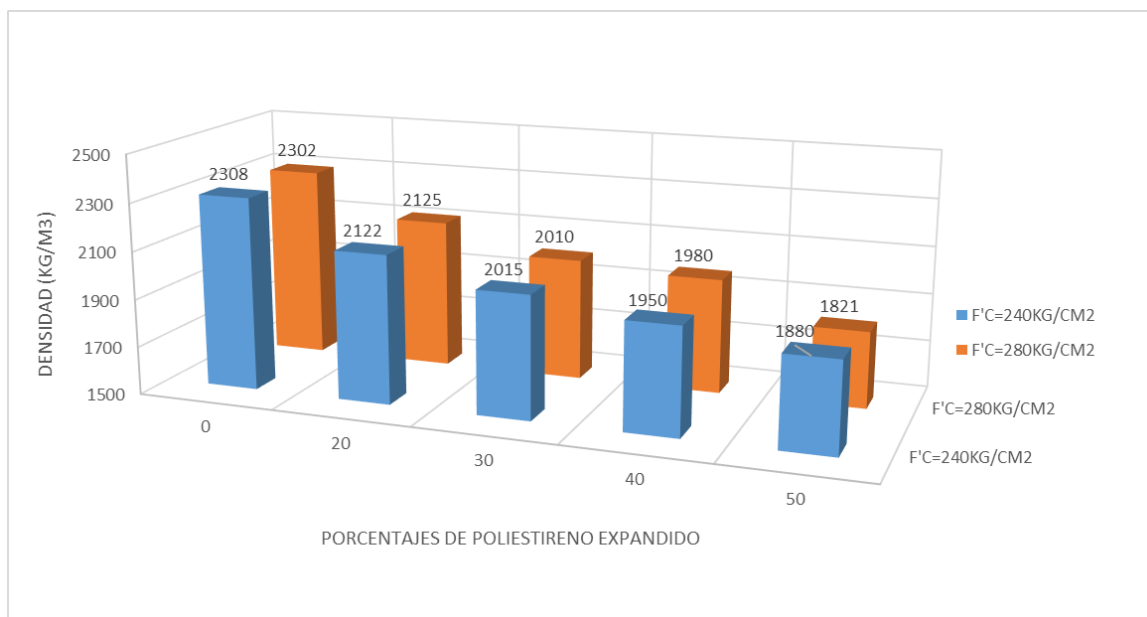
4.3.1.1 Resumen de Resistencia a la Compresión de Cilindros.

Gráfica 4.3 Resistencia a la Compresión de Cilindros.



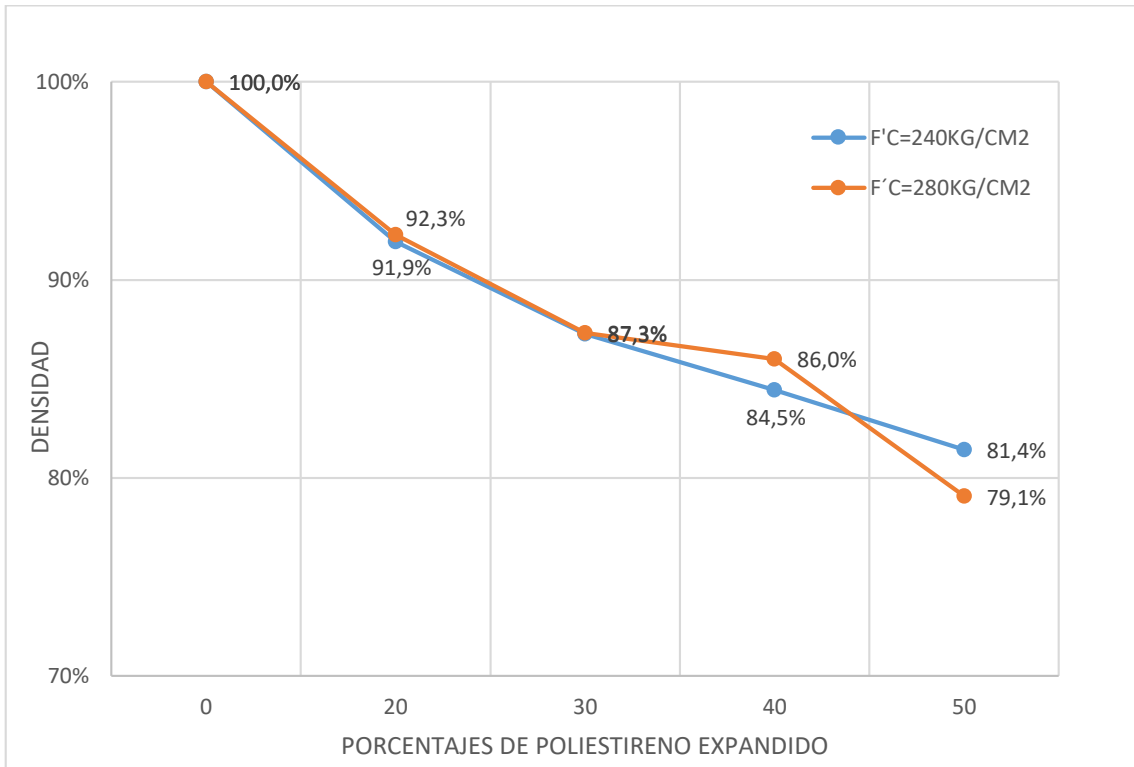
Fuente: Propia

Gráfica 4.4 Pérdida de Densidad Según el Porcentaje de EPS



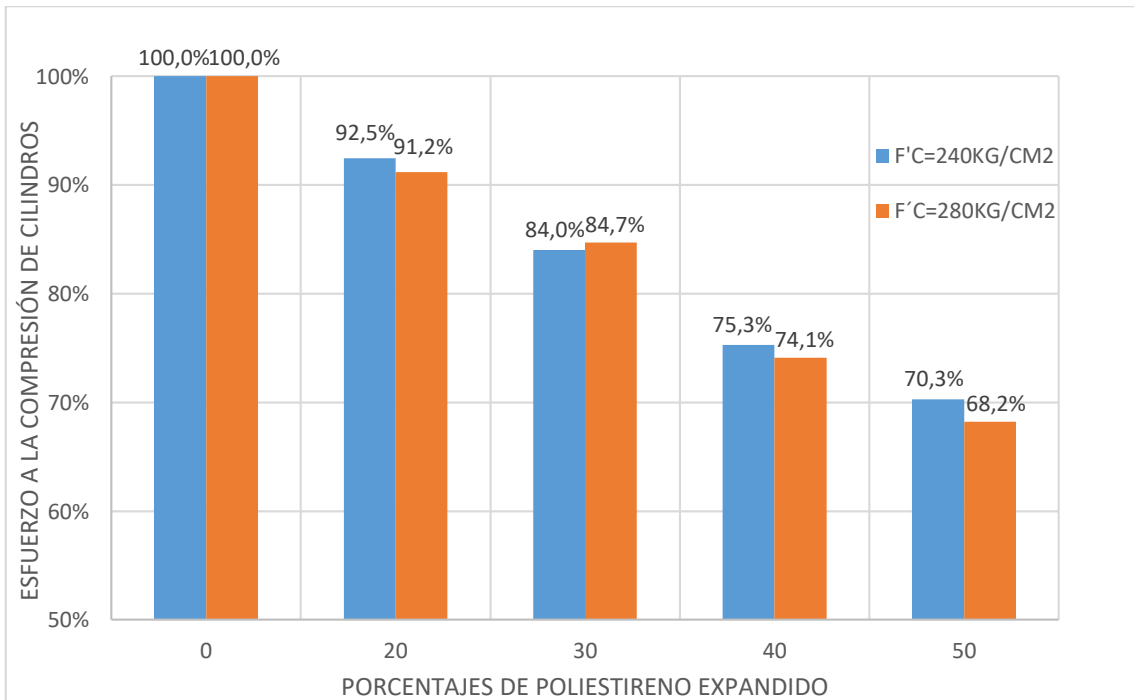
Fuente: Propia

Gráfica 4.5 Porcentajes Pérdida de Densidad



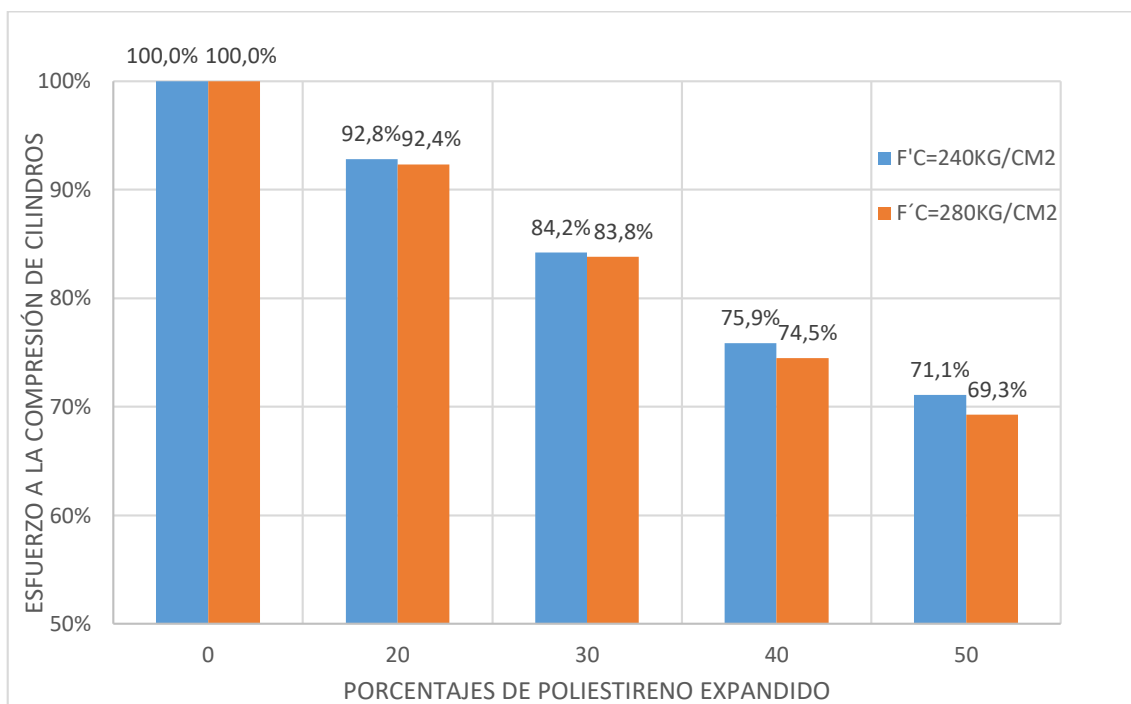
Fuente: Propia

Gráfica 4.6 Pérdida de Resistencia Promedio a la Compresión Según el Porcentaje de EPS



Fuente: Propia

Gráfica 4.7 Pérdida de Resistencia Característica a la Compresión Según el Porcentaje de EPS



Fuente: Propia

4.3.2 Determinación de la Resistencia a la Flexión del hormigón (NTE INEN 2554)

Tracción por flexion en vigas

Obra: Tesis Ensayado por: E. Toro - G. Villarreal
 F'c Esperado: 240 kg/cm² Calculado por: E. Toro - G. Villarreal
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Lauro Lara
 % Poliestireno: 0% Fecha: 05/02/19

Muestra	I	II	III
Fecha de fabricación	1/10/2018	1/10/2018	1/10/2018
Fecha de ensayo	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018
Días curación	28	28	28
Longitud (mm)	540	536	540
Ancho (mm)	152	152	152
Altura (mm)	156	153	152
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450
Masa (Kg)	27,94	28,08	27,69
Carga máxima (N)	35669	33420	34595
Resistencia (Kg/cm ²)	44,25	43,10	45,20
Promedio (Kg/cm ²)	44,18		
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	1,05		
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	42,76		

Tracción por flexion en vigas

Obra: Tesis Ensayado por: E. Toro - G. Villarreal
 F'c Esperado: 240 kg/cm² Calculado por: E. Toro - G. Villarreal
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Lauro Lara
 % Poliestireno: 20% Fecha: 05/02/19

Muestra	A I	A II	A III
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28
Longitud (mm)	560	562	561
Ancho (mm)	155	155	156
Altura (mm)	158	157	157
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450
Masa (Kg)	28,12	28,35	28,59
Carga máxima (N)	32469	32195	31695
Resistencia (Kg/cm ²)	38,50	38,67	37,82
Promedio (Kg/cm ²)	38,33		
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,45		
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	37,73		

Tracción por flexion en vigas

Obra: Tesis Ensayado por: E. Toro - G. Villarreal
 F´c Esperado: 240 kg/cm² Calculado por: E. Toro - G. Villarreal
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Lauro Lara
 % Poliestireno: 30% Fecha: 05/02/19

Muestra	B I	B II	B III
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28
Longitud (mm)	560	560	560
Ancho (mm)	152	156	154
Altura (mm)	156	158	156
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450
Masa (Kg)	25,92	26,58	26,54
Carga máxima (N)	28659	29951	29462
Resistencia (Kg/cm ²)	35,55	35,29	36,07
Promedio (Kg/cm ²)	35,64		
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,40		
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	35,10		

Tracción por flexion en vigas

Obra: Tesis Ensayado por: E. Toro - G. Villarreal
 F´c Esperado: 240 kg/cm² Calculado por: E. Toro - G. Villarreal
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Lauro Lara
 % Poliestireno: 40% Fecha: 05/02/19

Muestra	C I	C II	C III
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28
Longitud (mm)	560	562	560
Ancho (mm)	153	153	153
Altura (mm)	154	157	154
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450
Masa (Kg)	25,66	25,19	25,43
Carga máxima (N)	25369	24953	23719
Resistencia (Kg/cm ²)	32,08	30,36	30,00
Promedio (Kg/cm ²)	30,81		
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	1,11		
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	29,31		

Tracción por flexion en vigas

Obra: Tesis Ensayado por: E. Toro - G. Villarreal
 F´c Esperado: 240 kg/cm² Calculado por: E. Toro - G. Villarreal
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Lauro Lara
 % Poliestireno: 50% Fecha: 05/02/19

Muestra	D I	D II	D III
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28
Longitud (mm)	540	540	540
Ancho (mm)	152	152	149
Altura (mm)	154	152	152
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450
Masa (Kg)	22,97	22,79	22,47
Carga máxima (N)	20626	21029	19563
Resistencia (Kg/cm ²)	26,26	27,48	26,08
Promedio (Kg/cm ²)	26,60		
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,76		
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	25,57		

Tracción por flexion en vigas

Obra: Tesis Ensayado por: E. Toro - G. Villarreal
 F´c Esperado: 280 kg/cm² Calculado por: E. Toro - G. Villarreal
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Lauro Lara
 % Poliestireno: 0% Fecha: 13/11/18

Muestra	I	II	III
Fecha de fabricación	15/10/2018	15/10/2018	15/10/2018
Fecha de ensayo	13/11/2018	13/11/2018	13/11/2018
Días curación	28	28	28
Longitud (mm)	561	560	561
Ancho (mm)	152	152	157
Altura (mm)	159	159	154
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450
Masa (Kg)	31,69	31,15	31,89
Carga máxima (N)	40595	40199	41092
Resistencia (Kg/cm ²)	48,48	48,00	50,64
Promedio (Kg/cm ²)	49,04		
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	1,41		
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	47,14		

Tracción por flexion en vigas

Obra: Tesis Ensayado por: E. Toro - G. Villarreal
 F´c Esperado: 280 kg/cm² Calculado por: E. Toro - G. Villarreal
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Lauro Lara
 % Poliestireno: 20% Fecha: 06/02/18

Muestra	E I	E II	E III
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28
Longitud (mm)	562	562	561
Ancho (mm)	154	157	158
Altura (mm)	158	159	159
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450
Masa (Kg)	28,94	29,56	29,69
Carga máxima (N)	36495	37595	38954
Resistencia (Kg/cm ²)	43,56	43,46	44,75
Promedio (Kg/cm ²)	43,92		
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,72		
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	42,96		

Tracción por flexion en vigas

Obra: Tesis Ensayado por: E. Toro - G. Villarreal
 F´c Esperado: 280 kg/cm² Calculado por: E. Toro - G. Villarreal
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Lauro Lara
 % Poliestireno: 30% Fecha: 06/02/18

Muestra	F I	F II	F III
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28
Longitud (mm)	560	561	560
Ancho (mm)	153	152	154
Altura (mm)	154	158	159
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450
Masa (Kg)	27,52	27,29	26,43
Carga máxima (N)	31981	33948	33215
Resistencia (Kg/cm ²)	40,44	41,05	39,15
Promedio (Kg/cm ²)	40,22		
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,97		
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	38,90		

Tracción por flexion en vigas

Obra: Tesis Ensayado por: E. Toro - G. Villarreal
 F´c Esperado: 280 kg/cm² Calculado por: E. Toro - G. Villarreal
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Lauro Lara
 % Poliestireno: 40% Fecha: 06/02/18

Muestra	G I	G II	GIII
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28
Longitud (mm)	562	561	562
Ancho (mm)	155	152	157
Altura (mm)	157	159	159
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450
Masa (Kg)	26,44	26,6	26,83
Carga máxima (N)	30196	29156	30159
Resistencia (Kg/cm ²)	36,27	34,82	34,87
Promedio (Kg/cm ²)	35,32		
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,82		
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	34,21		

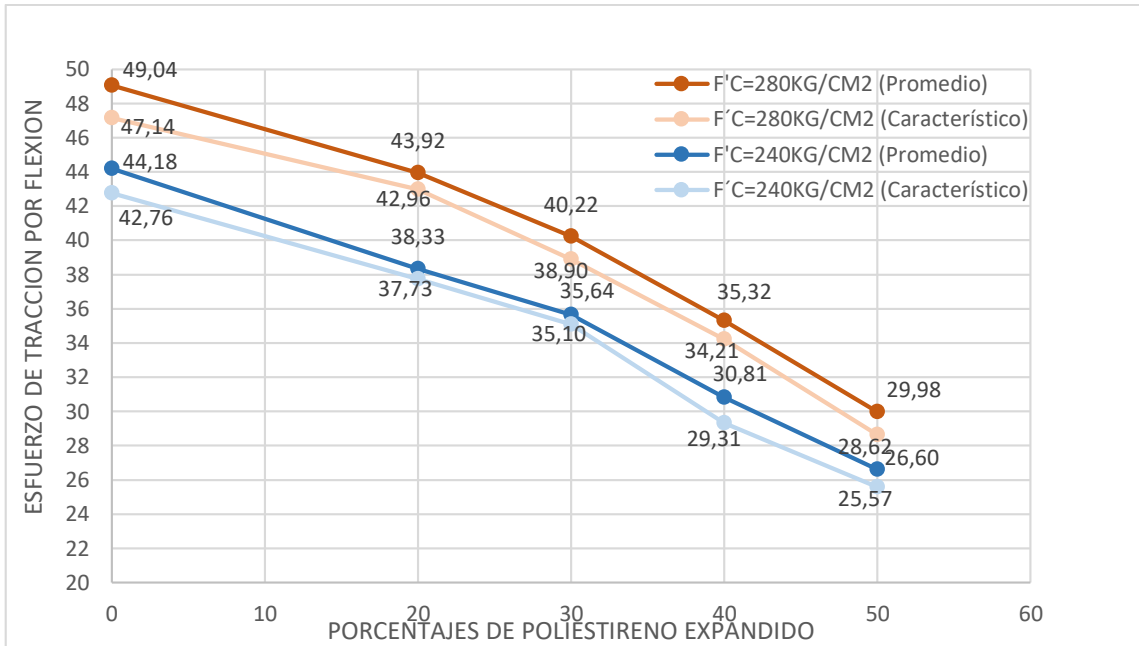
Tracción por flexion en vigas

Obra: Tesis Ensayado por: E. Toro - G. Villarreal
 F´c Esperado: 280 kg/cm² Calculado por: E. Toro - G. Villarreal
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Lauro Lara
 % Poliestireno: 50% Fecha: 06/02/18

Muestra	H I	H II	H III
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28
Longitud (mm)	562	560	560
Ancho (mm)	154	153	155
Altura (mm)	155	152	154
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450
Masa (Kg)	24,73	25,68	24,15
Carga máxima (N)	23659	23981	23596
Resistencia (Kg/cm ²)	29,34	31,13	29,45
Promedio (Kg/cm ²)	29,98		
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	1,00		
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	28,62		

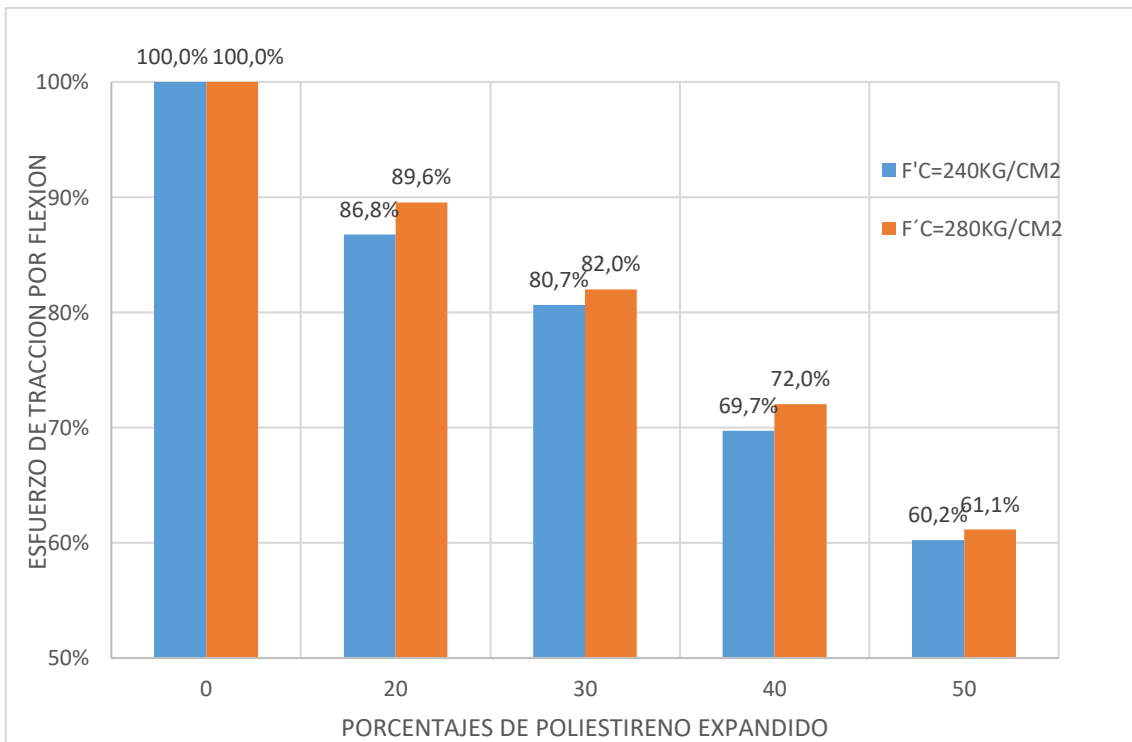
4.3.2.1 Resumen de la Tracción por Flexión en Vigas.

Gráfica 4.8 Esfuerzo de Tracción por Flexión



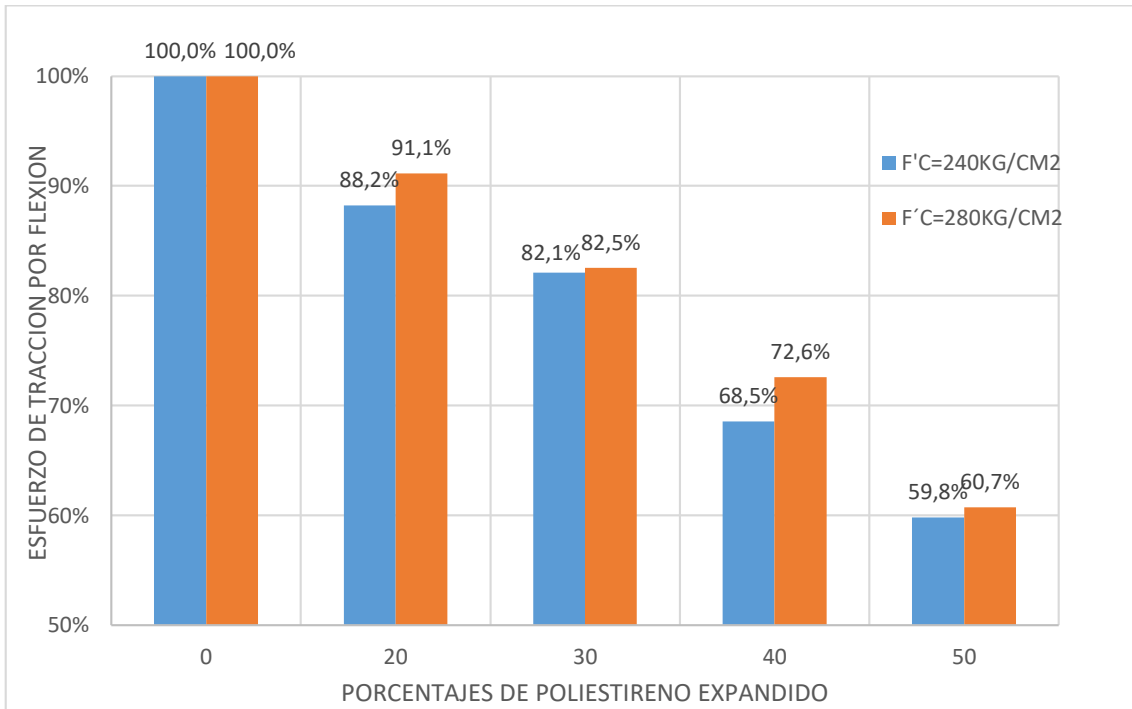
Fuente: Propia

Gráfica 4.9 Pérdida de Esfuerzo de Tracción por Flexión Promedio Según el Porcentaje de EPS



Fuente: Propia

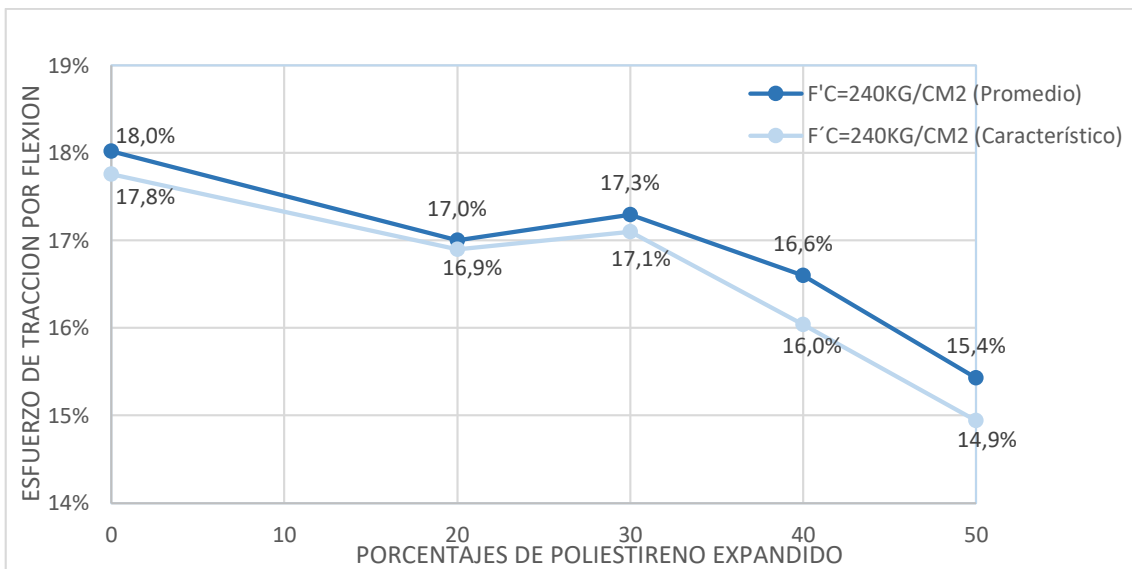
Gráfica 4.10 Pérdida de Esfuerzo de Tracción por Flexión Característico Según el Porcentaje de EPS



Fuente: Propia

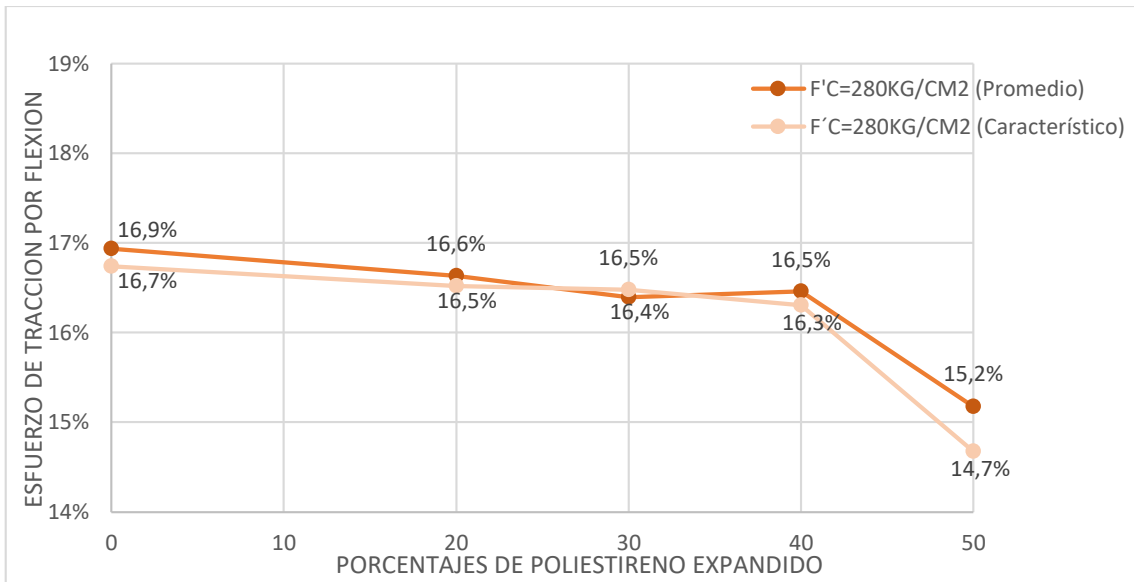
Gráfica 4.11 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Compresión

$f'c=240kg/cm^2$



Fuente: Propia

Gráfica 4.12 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Compresión
 $f'c=280\text{kg/cm}^2$



Fuente: Propia

4.3.3 Determinación de la Resistencia a la Tracción por Compresión de Cilindros

Método Brasileño (NTE INEN 2648)

Ensayo Brasileño

Obra: Tesis Ensayado por: E. Toro - G. Villarreal
 F'c Esperado: 240 kg/cm Calculado por: E. Toro - G. Villarreal
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Lauro Lara
 % Poliestireno: 0% Fecha: 30/10/18

Muestra	1,6	1,7	1,8	1,9	1,10
Fecha de fabricación	1/10/2018	1/10/2018	1/10/2018	1/10/2018	1/10/2018
Fecha de ensayo	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018	30/10/2018
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151,05	150,04	151,03	152,4	150,89
Diámetro 2 (mm)	152,08	150,05	152,07	151,4	150,05
Altura 1 (mm)	304,7	299,5	300,8	305,9	299,5
Altura 2 (mm)	307,8	300,5	301,6	305	300,5
Altura 3 (mm)	304,3	299,8	301,1	306,2	304,3
Masa (Kg)	12,36	12,2	12,34	12,73	12,49
Carga máxima (KN)	249,2	243,15	246,95	241,9	238,91
Altura Promedio (mm)	305,60	299,93	301,17	305,70	301,43
Diámetro Promedio (mm)	151,57	150,05	151,55	151,90	150,47
Resistencia (Kg/cm ²)	34,93	35,07	35,12	33,82	34,19
Promedio (Kg/cm ²)	34,63				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,59				
Resistencia Característica (Kg/cm ²)	33,83				

Ensayo Brasileño

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	20%	Fecha:	05/02/19

Muestra	A6	A7	A8	A9	A10
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151,52	152,71	153,24	151,9	153,89
Diámetro 2 (mm)	151,93	153,23	151,87	152,17	154,12
Altura 1 (mm)	303,52	298,51	302,45	308,2	308,67
Altura 2 (mm)	304,1	297,97	301,67	306,19	308,5
Altura 3 (mm)	303,97	299,61	302,12	306,75	307,91
Masa (Kg)	11,8	11,41	11,76	11,78	12,22
Carga máxima (KN)	211,16	209,5	207,6	218,3	208,6
Altura Promedio (mm)	303,86	298,70	302,08	307,05	308,36
Diámetro Promedio (mm)	151,725	152,97	152,56	152,04	154,01
Resistencia (Kg/cm²)	29,73	29,77	29,24	30,36	28,52
Promedio (Kg/cm²)	29,52				
Desviación Estándar (Kg/cm²)	0,69				
Resistencia Característica(Kg/cm²)	28,59				

Ensayo Brasileño

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	30%	Fecha:	05/02/19

Muestra	B6	B7	B8	B9	B10
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	153,12	151,8	152,78	153,78	151,96
Diámetro 2 (mm)	152,97	152,13	153,51	152,12	1552,15
Altura 1 (mm)	299,62	301,41	302,11	303,36	300,67
Altura 2 (mm)	299,71	302,75	301,97	302,87	299,8
Altura 3 (mm)	297,35	301,39	302,22	303,43	299,82
Masa (Kg)	10,74	10,93	11,11	11,09	10,82
Carga máxima (KN)	195,6	194,7	192,59	193,5	197,9
Altura Promedio (mm)	298,89	301,85	302,10	303,22	300,10
Diámetro Promedio (mm)	153,05	151,97	153,15	152,95	152,20
Resistencia (Kg/cm ²)	27,76	27,55	27,02	27,09	28,13
Promedio (Kg/cm ²)	27,51				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,46				
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	26,88				

Ensayo Brasileño

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	40%	Fecha:	05/02/19

Muestra	C6	C7	C8	C9	C10
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	149,81	151,41	152,11	152,17	152,64
Diámetro 2 (mm)	150,12	150,32	151,79	153,87	153,89
Altura 1 (mm)	301,9	303,4	298,42	303,78	305,67
Altura 2 (mm)	300,56	301,72	298,85	304,67	304,8
Altura 3 (mm)	301,37	302,18	299,17	305,69	305,26
Masa (Kg)	10,49	10,43	10,59	10,59	10,99
Carga máxima (KN)	169,31	170,62	167,7	175,39	180,2
Altura Promedio (mm)	301,28	302,43	298,81	304,71	305,24
Diámetro Promedio (mm)	149,97	150,87	151,95	153,02	153,27
Resistencia (Kg/cm ²)	24,33	24,28	23,98	24,42	25,00
Promedio (Kg/cm ²)	24,40				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,38				
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	23,89				

Ensayo Brasileño

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	50%	Fecha:	05/02/19

Muestra	D6	D7	D8	D9	D10
Fecha de fabricación	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019	7/1/2019
Fecha de ensayo	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019	5/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	153,4	150,25	154,11	152,88	154,97
Diámetro 2 (mm)	152,97	150,41	153,83	154,87	153,64
Altura 1 (mm)	303,68	301,6	306,52	304,87	301,83
Altura 2 (mm)	302,59	299,97	305,87	303,67	303,63
Altura 3 (mm)	303,48	301,27	305,87	304,53	303,47
Masa (Kg)	10,26	10,4	10,65	10,47	10,53
Carga máxima (KN)	155,86	162,6	158,75	151,6	156,41
Altura Promedio (mm)	303,25	300,95	306,09	304,36	302,98
Diámetro Promedio (mm)	153,19	150,33	153,97	153,88	154,31
Resistencia (Kg/cm²)	21,78	23,33	21,87	21,01	21,72
Promedio (Kg/cm²)	21,94				
Desviación Estándar (Kg/cm²)	0,85				
Resistencia Característica (Kg/cm²)	20,80				

Ensayo Brasileño

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	0%	Fecha:	13/11/18

Muestra	2,6	2,7	2,8	2,9	2,10
Fecha de fabricación	15/10/2018	15/10/2018	15/10/2018	15/10/2018	15/10/2018
Fecha de ensayo	13/11/2018	13/11/2018	13/11/2018	13/11/2018	13/11/2018
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	149,65	150,74	150,74	152,39	151,04
Diámetro 2 (mm)	150,23	145,5	150,86	151,45	152,76
Altura 1 (mm)	303,31	300,63	301,75	306,61	305,86
Altura 2 (mm)	300,25	298,44	299,81	307,02	306,75
Altura 3 (mm)	302,2	299,79	299,2	306,31	303,7
Masa (Kg)	12,18	12,5	12,35	12,49	12,75
Carga máxima (KN)	259,4	265,1	256,7	264,6	260,8
Altura Promedio (mm)	301,92	299,62	300,25	306,65	305,44
Diámetro Promedio (mm)	149,94	148,12	150,80	151,92	151,90
Resistencia (Kg/cm ²)	37,20	38,78	36,80	36,87	36,49
Promedio (Kg/cm ²)	37,23				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,90				
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	36,01				

Ensayo Brasileño

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	20%	Fecha:	06/02/18

Muestra	E6	E7	E8	E9	E10
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151,66	153,44	151,12	150,22	151,46
Diámetro 2 (mm)	153,41	154,68	152,34	151,41	152,7
Altura 1 (mm)	303,41	307,61	296,72	302,67	302,67
Altura 2 (mm)	302,57	306,78	300,07	302,4	303,78
Altura 3 (mm)	303,57	307,85	298,14	301,93	302,57
Masa (Kg)	11,55	11,81	11,42	11,71	11,56
Carga máxima (KN)	227,9	229,6	229,8	231,6	227,6
Altura Promedio (mm)	303,18	307,41	298,31	302,33	303,01
Diámetro Promedio (mm)	152,54	154,06	151,73	150,82	152,08
Resistencia (Kg/cm²)	31,99	31,47	32,96	32,97	32,06
Promedio (Kg/cm²)	32,29				
Desviación Estándar (Kg/cm²)	0,66				
Resistencia Característica(Kg/cm²)	31,41				

Ensayo Brasileño

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	30%	Fecha:	06/02/18

Muestra	F6	F7	F8	F9	F10
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151,03	151,8	151,41	153,87	153,44
Diámetro 2 (mm)	152,07	150,7	150,32	152,82	154,68
Altura 1 (mm)	300,8	302,75	306,61	306,52	307,61
Altura 2 (mm)	301,6	301,48	307,02	305,87	306,78
Altura 3 (mm)	301,1	302,39	306,31	305,87	307,85
Masa (Kg)	10,89	10,97	10,85	10,95	10,63
Carga máxima (KN)	216,6	222,8	221,3	211,2	215,9
Altura Promedio (mm)	301,17	302,21	306,65	306,09	307,41
Diámetro Promedio (mm)	151,55	151,25	151,92	153,97	154,06
Resistencia (Kg/cm²)	30,81	31,64	30,84	29,09	29,59
Promedio (Kg/cm²)	30,39				
Desviación Estándar (Kg/cm²)	1,03				
Resistencia Característica(Kg/cm²)	29,00				

Ensayo Brasileño

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	40%	Fecha:	06/02/18

Muestra	G6	G7	G8	G9	G10
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	150,8	149,48	153,12	152,39	154,11
Diámetro 2 (mm)	150,02	150,2	152,97	151,45	153,83
Altura 1 (mm)	299,63	301,6	306,52	302,77	304,16
Altura 2 (mm)	298,42	299,97	305,87	300,55	302,46
Altura 3 (mm)	299,43	301,27	305,87	300,67	303,2
Masa (Kg)	10,37	10,52	10,45	10,29	10,59
Carga máxima (KN)	191,5	191,5	185,1	192,6	189,6
Altura Promedio (mm)	299,16	300,95	306,09	301,33	303,27
Diámetro Promedio (mm)	150,41	149,84	153,05	151,92	153,97
Resistencia (Kg/cm²)	27,63	27,57	25,65	27,31	26,36
Promedio (Kg/cm²)	26,90				
Desviación Estándar (Kg/cm²)	0,87				
Resistencia Característica(Kg/cm²)	25,73				

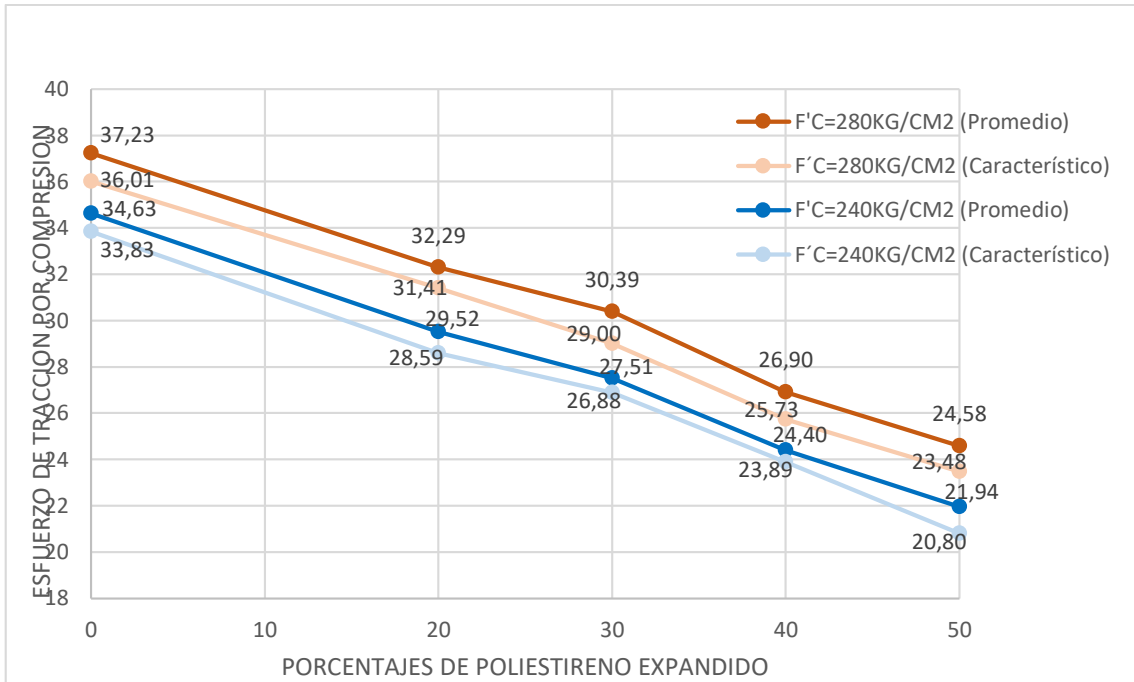
Ensayo Brasileño

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F´c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
% Poliestireno:	50%	Fecha:	06/02/18

Muestra	H6	H7	H8	H9	H10
Fecha de fabricación	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019	8/1/2019
Fecha de ensayo	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019	6/2/2019
Días curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	149,67	150,43	151,8	152,94	151,41
Diámetro 2 (mm)	150,12	151,98	150,7	152,36	150,32
Altura 1 (mm)	298,79	296,47	302,75	299,71	303,4
Altura 2 (mm)	296,36	300,13	301,48	300,35	301,72
Altura 3 (mm)	296,48	298,59	302,39	299,87	302,18
Masa (Kg)	9,65	10,17	9,86	10,23	10,18
Carga máxima (KN)	177,9	172,13	168,5	170,5	169,4
Altura Promedio (mm)	297,21	298,40	302,21	299,98	302,43
Diámetro Promedio (mm)	149,90	151,21	151,25	152,65	150,87
Resistencia (Kg/cm ²)	25,92	24,77	23,93	24,17	24,10
Promedio (Kg/cm ²)	24,58				
Desviación Estándar (Kg/cm ²)	0,81				
Resistencia Característica(Kg/cm ²)	23,48				

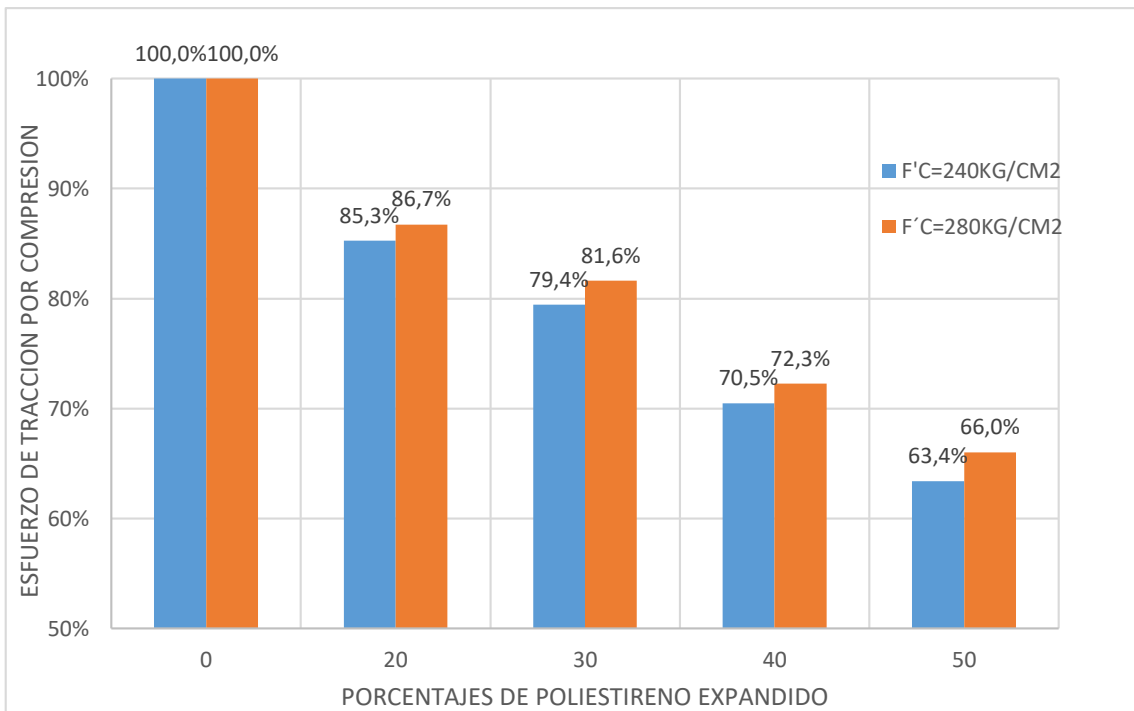
4.3.3.1 Resumen de la Tracción en Cilindros (Método Brasileño)

Gráfica 4.13 Esfuerzo de Tracción por Compresión.



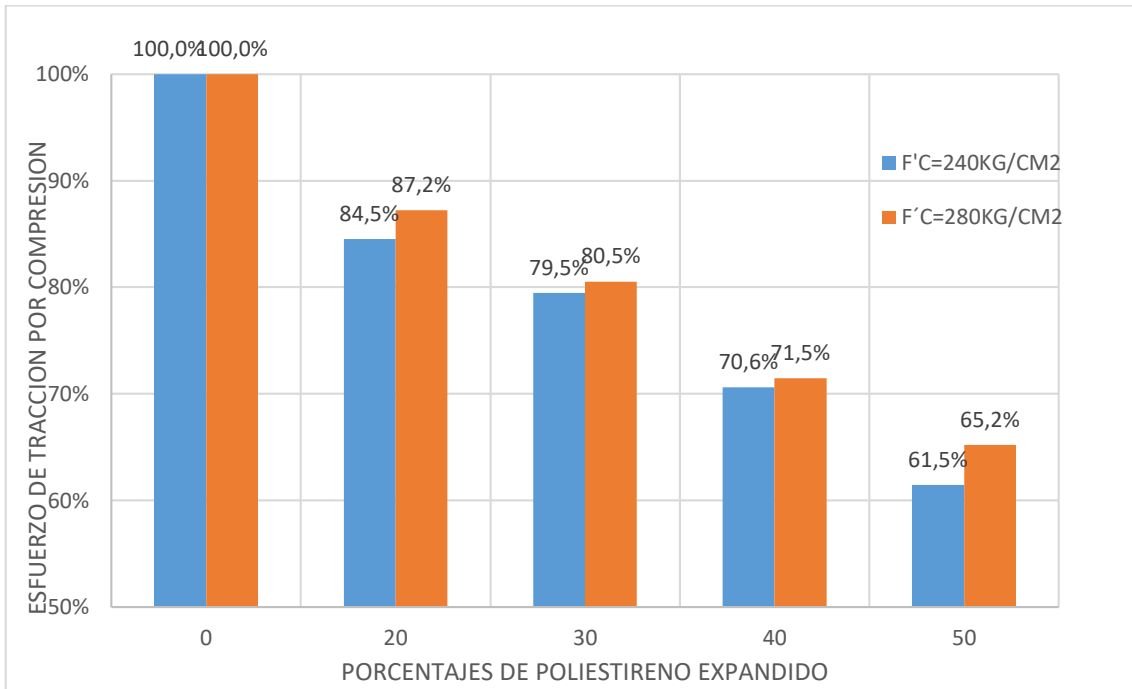
Fuente: Propia

Gráfica 4.14 Pérdida de Esfuerzo de Tracción por Compresión Promedio Según el Porcentaje de EPS



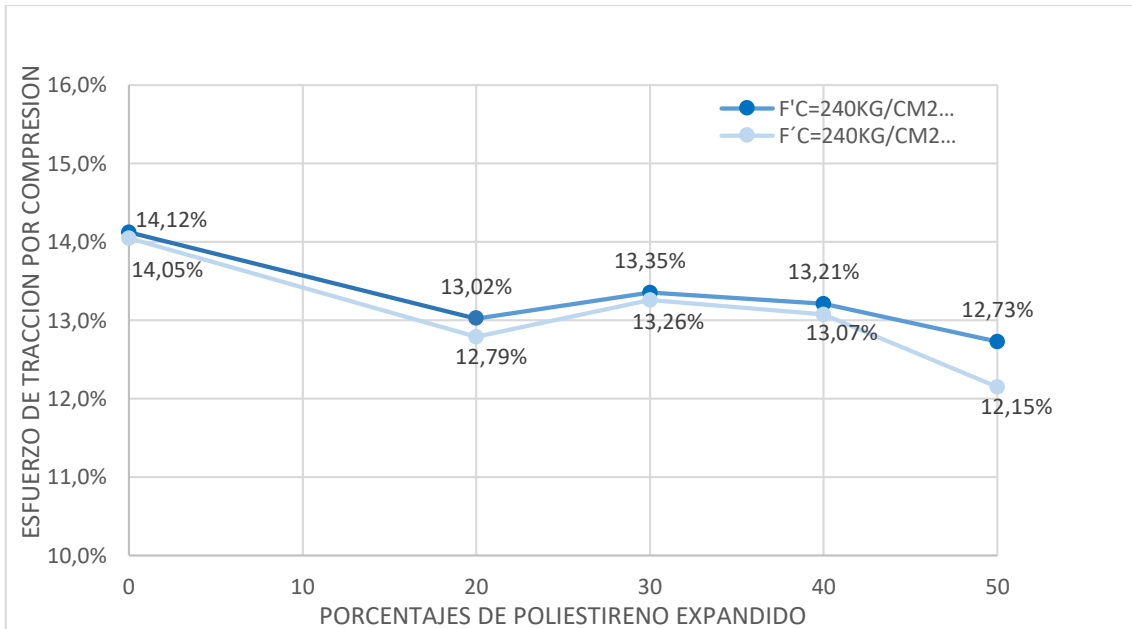
Fuente: Propia

Gráfica 4.15 Pérdida de Esfuerzo de Tracción por Compresión Característico Según el Porcentaje de EPS



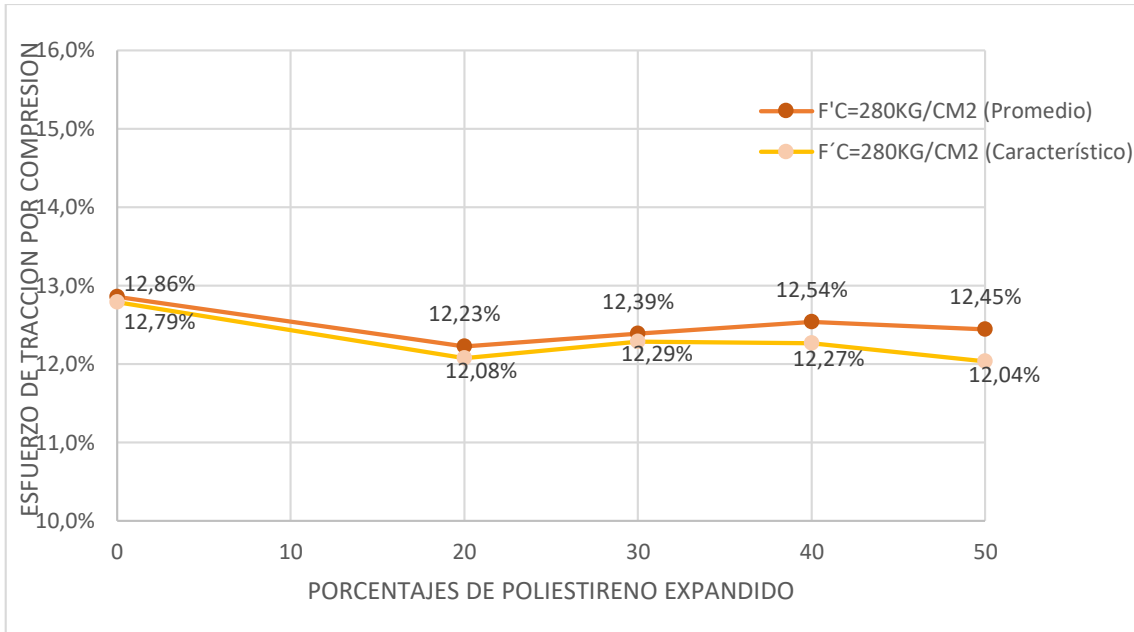
Fuente: Propia

Gráfica 4.16 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Compresión – Esfuerzo a Compresión $f'c=240\text{kg/cm}^2$



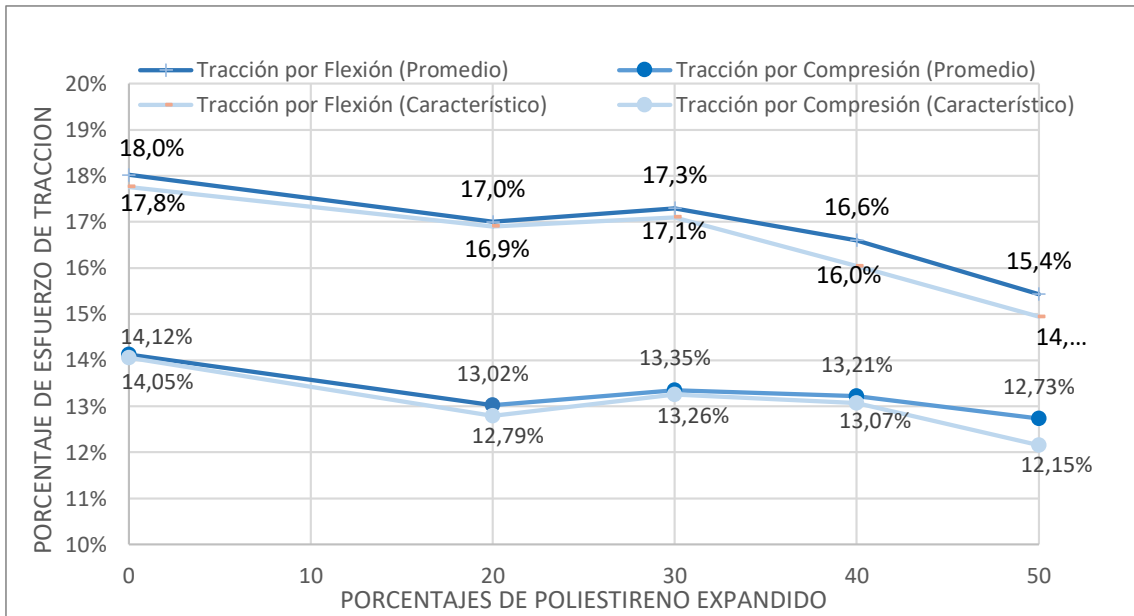
Fuente: Propia

Gráfica 4.17 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Compresión – Esfuerzo a Compresión
 $f'c=280\text{kg/cm}^2$



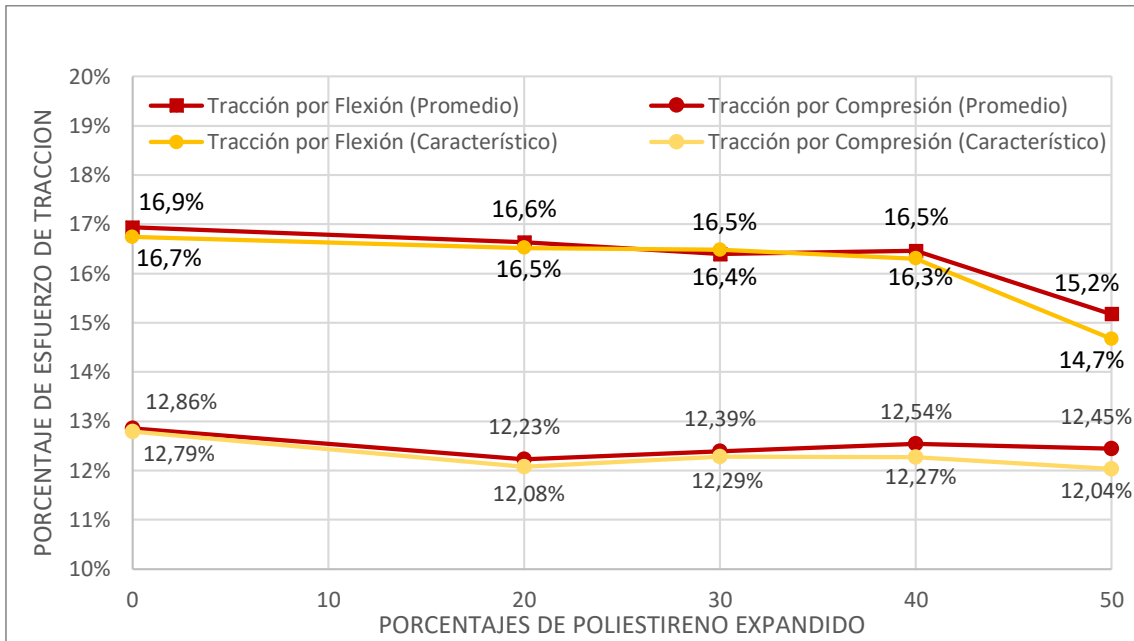
Fuente: Propia

Gráfica 4.18 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción – Esfuerzo a Compresión $f'c=240\text{kg/cm}^2$



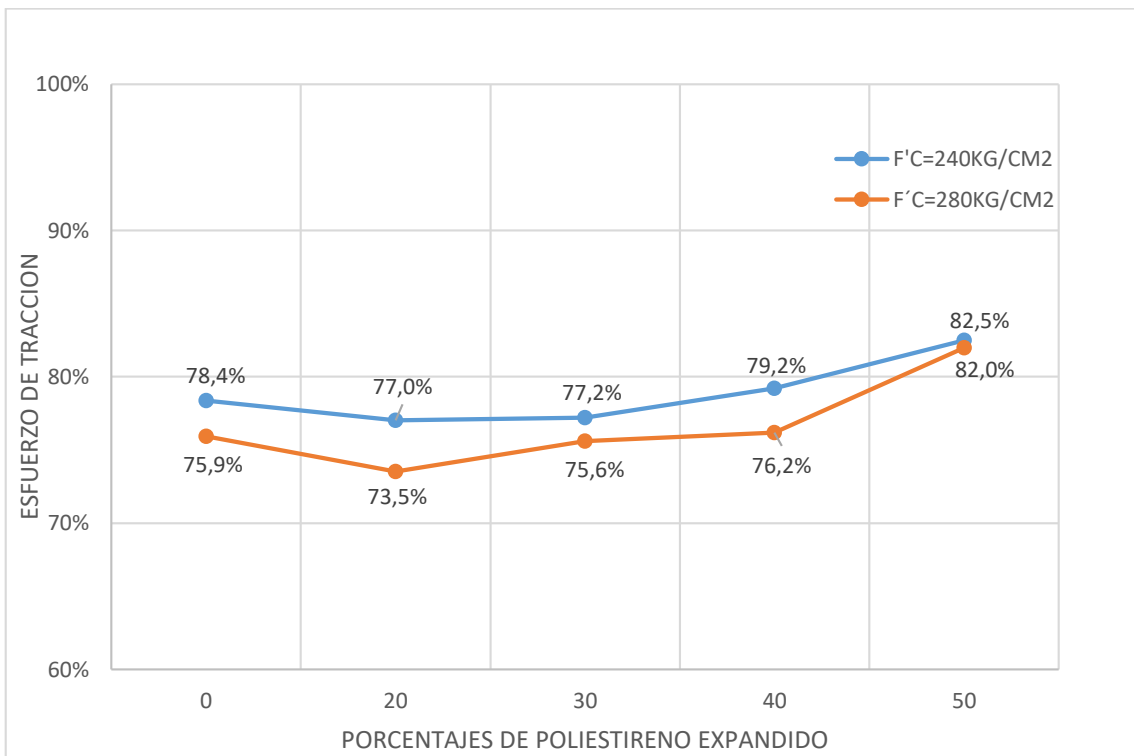
Fuente: Propia

Gráfica 4.19 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción – Esfuerzo a Compresión $f'c=280\text{kg/cm}^2$



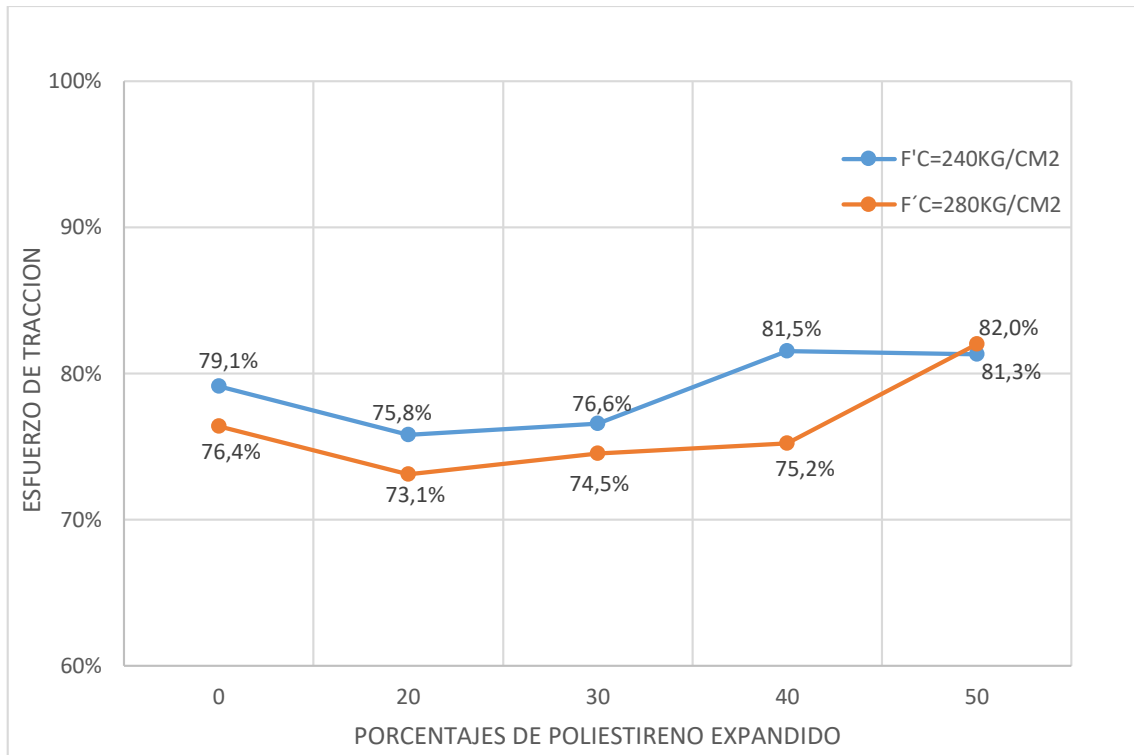
Fuente: Propia

Gráfica 4.20 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Tracción por Compresión Promedio



Fuente: Propia

Gráfica 4.21 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Tracción por Compresión
Característico



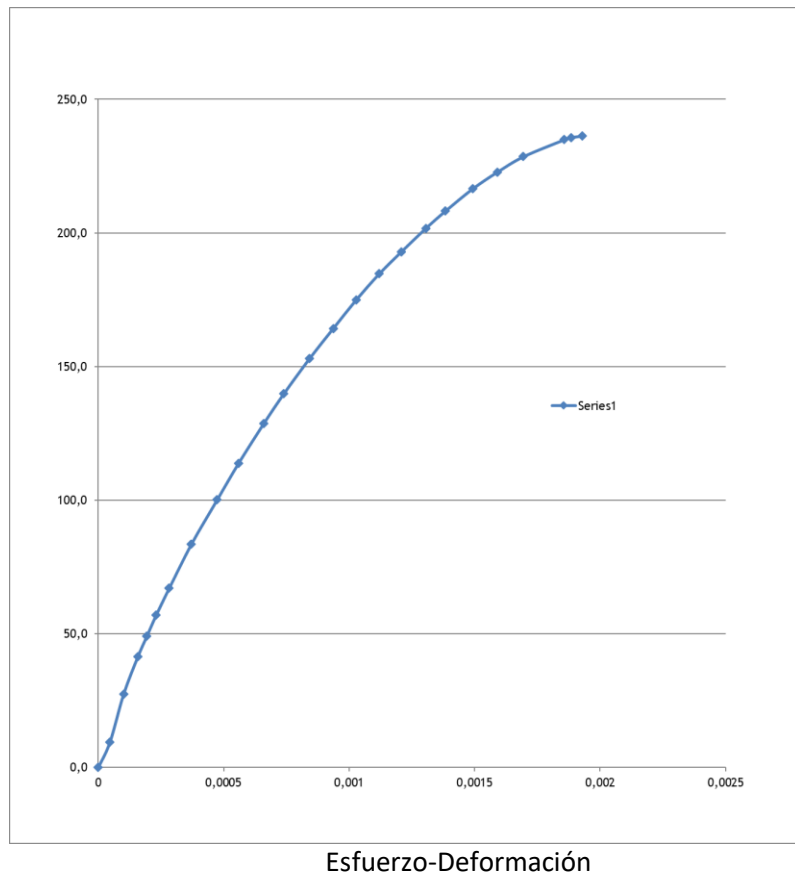
Fuente: Propia

4.3.4 Determinación del Módulo de Elasticidad (NTE INEN 1573)

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,44	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	1.4-P	Fecha:	30/10/18
% Poliestireno:	0%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
9,5	0,00004645
27,5	0,00010107
41,5	0,00015793
49,1	0,00019323
56,9	0,00023039
67,0	0,00028241
83,6	0,00037159
100,1	0,00047378
113,8	0,00055925
128,7	0,00065958
139,8	0,00073947
152,9	0,00084166
164,2	0,00093642
174,9	0,00102746
184,7	0,00112036
192,9	0,00120768
201,7	0,00130616
208,2	0,00138419
216,6	0,00149381
222,7	0,00159043
228,5	0,00169447
234,9	0,00185797
235,7	0,00188584
236,2	0,00192858
237,1	0,00200475
237,2	0,00201962
237,3	0,00203448

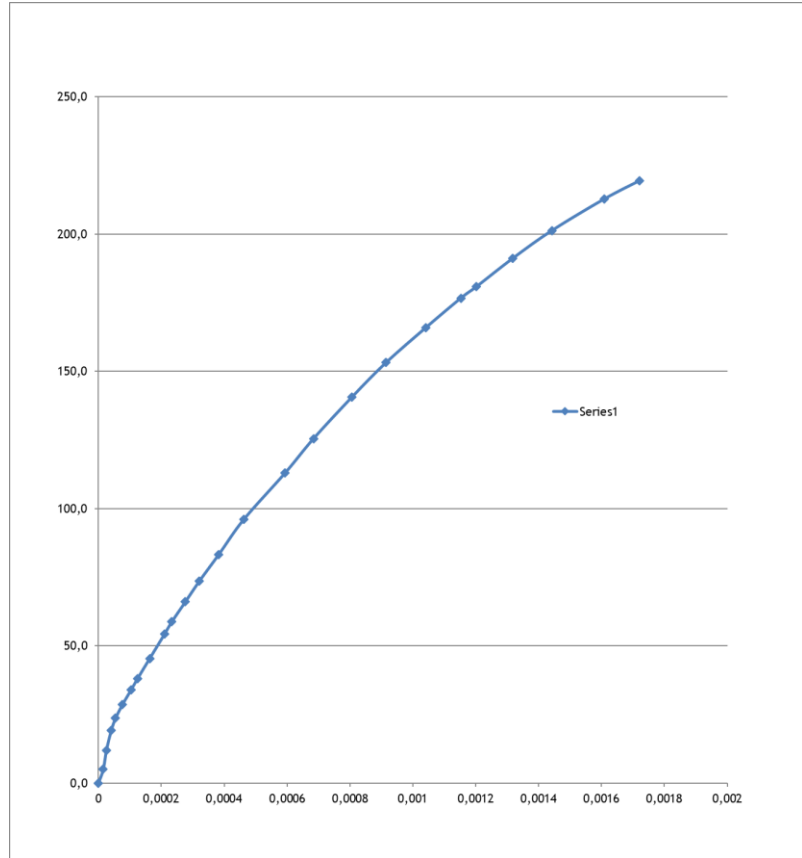


F'c max =	244,824 kg/cm ²	0.4f'c =	97.90 kg/cm ²	w =	2,3225 ton/m ³
Ec (aci) =	236467	Ec (cal) =	234093	e1 =	0.000385
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4227	fc1 =	19.5
α (aci) =	15113	α (cal) =	14961		

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,44	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	1.1-P	Fecha:	30/10/18
% Poliestireno:	0%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
5,0	0,00001510
12,0	0,00002516
19,2	0,00004076
23,7	0,00005435
28,7	0,00007699
34,0	0,00010417
38,1	0,00012455
45,4	0,00016304
54,4	0,00021060
58,8	0,00023324
66,0	0,00027627
73,7	0,00032155
83,3	0,00038270
96,0	0,00046195
113,0	0,00059329
125,5	0,00068387
140,6	0,00080615
153,2	0,00091485
166,0	0,00104166
176,7	0,00115261
180,9	0,00120243
191,2	0,00131792
201,3	0,00144247
212,7	0,00160777
219,5	0,00172100
224,4	0,00181158
229,2	0,00192027
232,7	0,00200632
234,8	0,00207652
235,7	0,00209463



Esfuerzo-Deformación

F'c max = 242.2 kg/cm²

0.4f'c = 96.89 kg/cm²

w = 2,3025 ton/m³

Ec (aci) = 232203

Ec (cal) = 230263

e1 = 0.000398

λ (aci) = 4270

λ (cal) = 4234

fc1 = 16.6

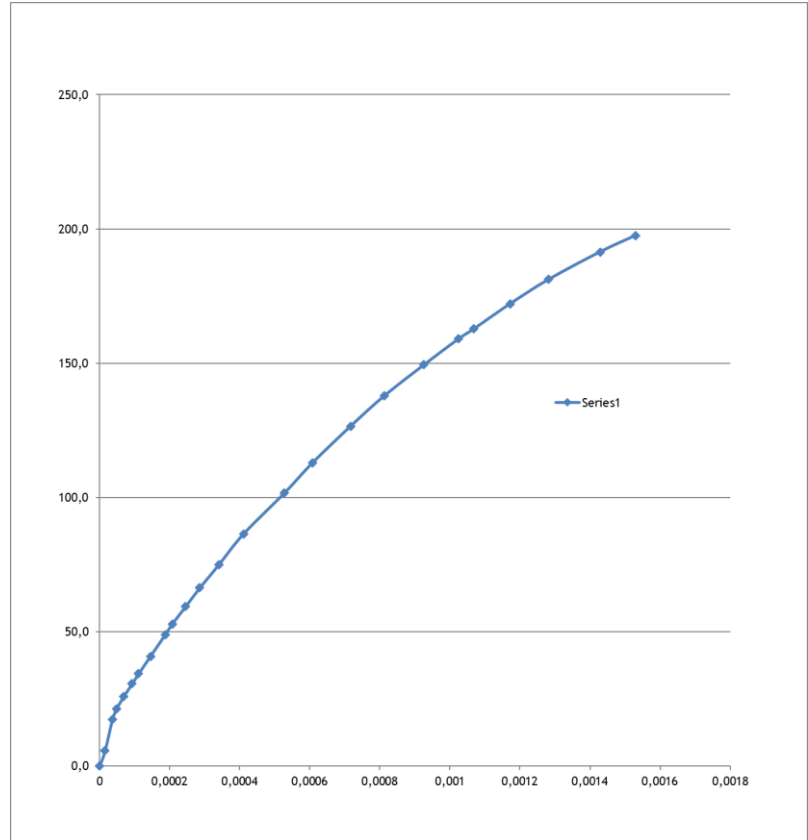
α (aci) = 14919

α (cal) = 14794

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,44	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	A1	Fecha:	05/02/19
% Poliestireno:	20%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
5,6	0,00001510
17,3	0,00003623
21,3	0,00004831
25,9	0,00006844
30,6	0,00009259
34,3	0,00011071
40,9	0,00014493
49,0	0,00018720
52,9	0,00020732
59,4	0,00024557
66,3	0,00028583
75,0	0,00034017
86,4	0,00041062
101,7	0,00052737
112,9	0,00060788
126,6	0,00071658
137,9	0,00081320
149,4	0,00092592
159,0	0,00102455
162,8	0,00106883
172,1	0,00117149
181,2	0,00128219
191,5	0,00142913
197,5	0,00152977
202,0	0,00161029
206,3	0,00170691
209,4	0,00178340
211,3	0,00184579
212,1	0,00186190



Esfuerzo-Deformación

F'c max = 226.2 kg/cm²

0.4f'c = 90.5 kg/cm²

w = 2.1201 ton/m³

Ec (aci) = 198255

Ec (cal) = 194874

e1 = 0.000423

λ (aci) = 4270

λ (cal) = 4197

fc1 = 17.8

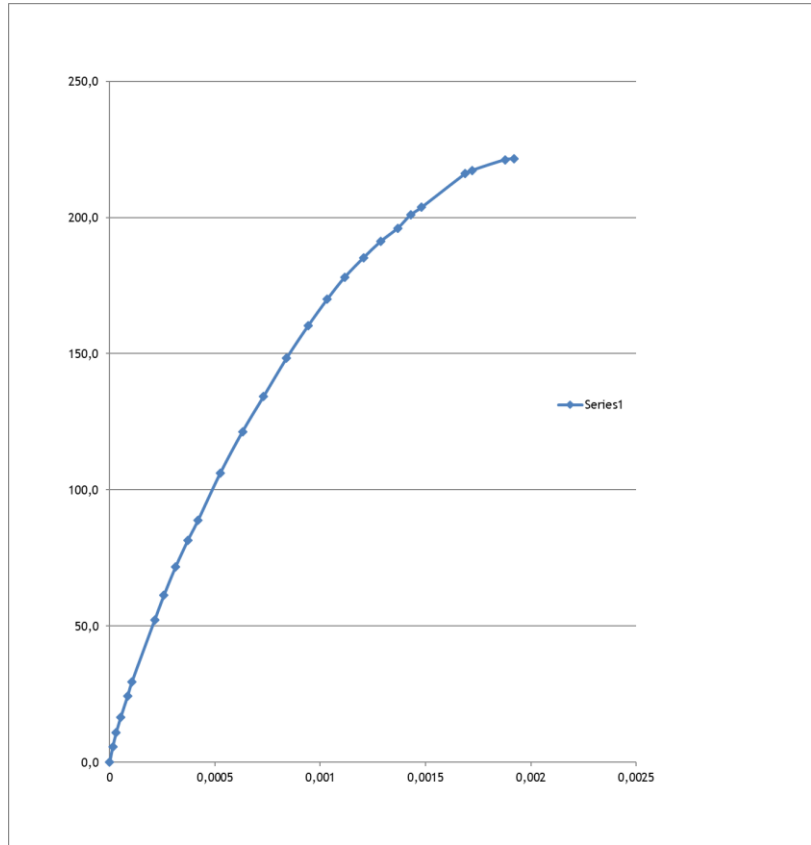
α (aci) = 13181

α (cal) = 12956

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,44	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	A5	Fecha:	05/02/19
% Poliestireno:	20%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
5,8	0,00001452
11,0	0,00003112
16,5	0,00005187
24,4	0,00008506
29,6	0,00010581
52,3	0,00021370
61,3	0,00025726
71,8	0,00031328
81,5	0,00037137
88,8	0,00041909
106,1	0,00052490
121,4	0,00063071
134,2	0,00073030
148,4	0,00084026
160,2	0,00094192
170,0	0,00103321
178,1	0,00111619
185,2	0,00120541
191,2	0,00128632
196,0	0,00136723
201,0	0,00142948
203,7	0,00148134
216,1	0,00168881
217,3	0,00171994
221,2	0,00187761
221,5	0,00191911



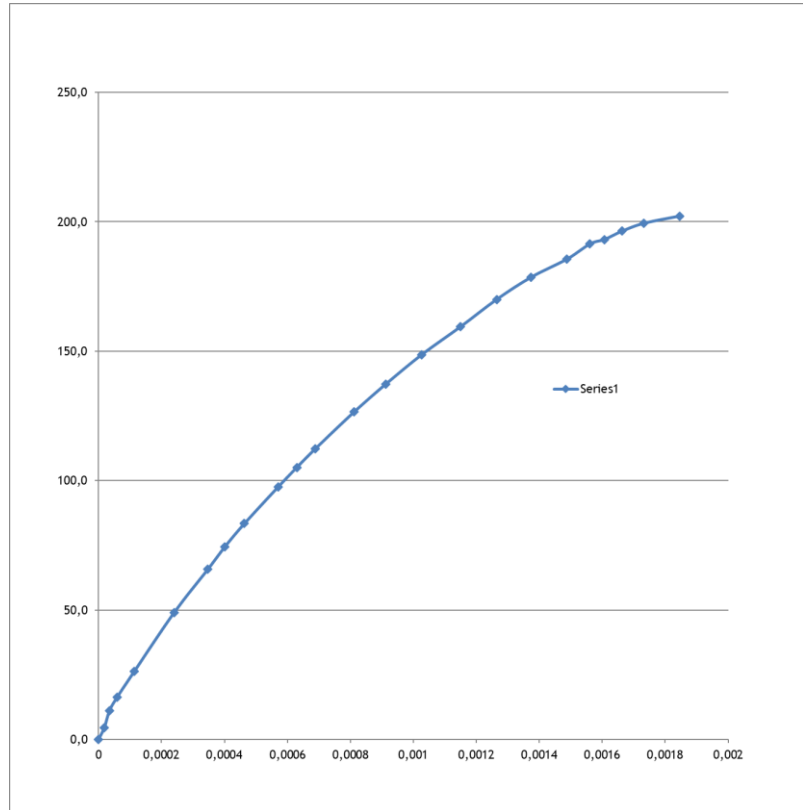
Esfuerzo-Deformación

F'c max = 226.0 kg/cm ²	0.4f'c = 90.4 kg/cm ²	w = 2.1423 ton/m ³
Ec (aci) = 201292	Ec (cal) = 198357	e1 = 0.000412
λ (aci) = 4270	λ (cal) = 4207	fc1 = 18.6
α (aci) = 13389	α (cal) = 13194	

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,44	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	B4	Fecha:	05/02/19
% Poliestireno:	30%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
4,6	0,00001826
11,0	0,00003423
16,3	0,00005934
26,4	0,00011411
48,9	0,00023963
65,7	0,00034689
74,5	0,00040166
83,4	0,00046328
97,5	0,00057055
105,1	0,00062988
112,4	0,00068922
126,6	0,00081246
137,3	0,00091287
148,7	0,00102698
159,5	0,00115022
170,0	0,00126433
178,6	0,00137388
185,6	0,00148799
191,4	0,00156102
193,1	0,00160666
196,4	0,00166371
199,4	0,00173218
202,2	0,00184629

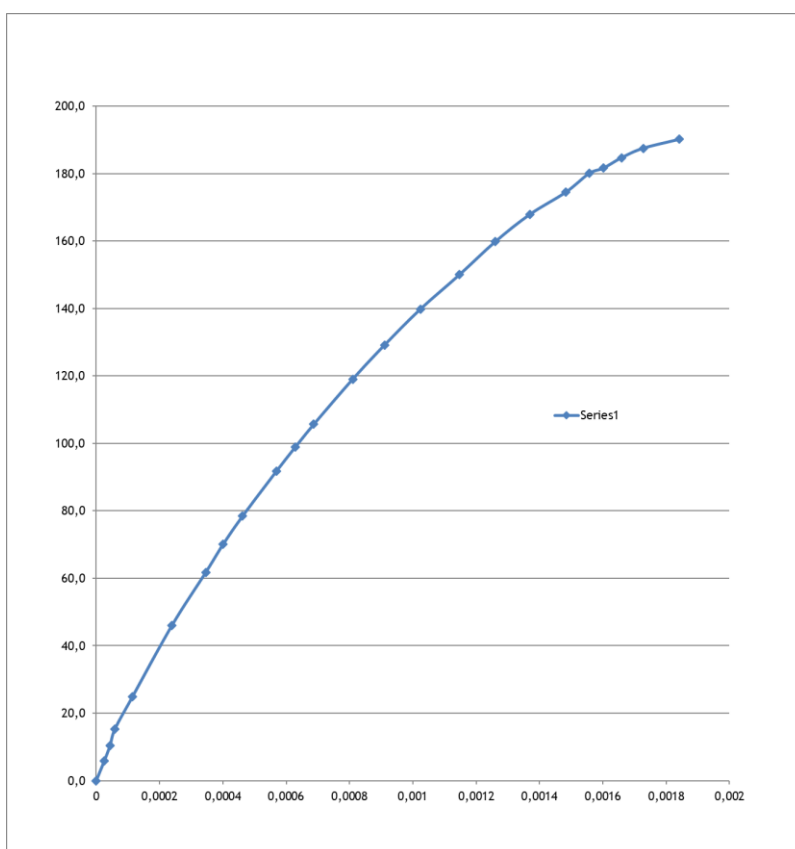


F'c max = 207.2 kg/cm ²	0.4f'c = 82.9 kg/cm ²	w = 2.0664 ton/m ³
Ec (aci) = 182597	Ec (cal) = 181084	e1 = 0.000431
λ (aci) = 4270	λ (cal) = 4235	fc1 = 13.9
α (aci) = 12684	α (cal) = 12579	

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,44	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	B5	Fecha:	05/02/19
% Poliestireno:	30%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
5,8	0,00002503
10,4	0,00004324
15,4	0,00005917
24,8	0,00011378
46,0	0,00023894
61,8	0,00034590
70,1	0,00040052
78,4	0,00046196
91,7	0,00056892
98,8	0,00062808
105,7	0,00068725
119,1	0,00081014
129,2	0,00091027
139,9	0,00102405
150,0	0,00114693
159,9	0,00126072
167,9	0,00136995
174,5	0,00148373
180,0	0,00155655
181,7	0,00160207
184,7	0,00165896
187,5	0,00172723
190,2	0,00184101



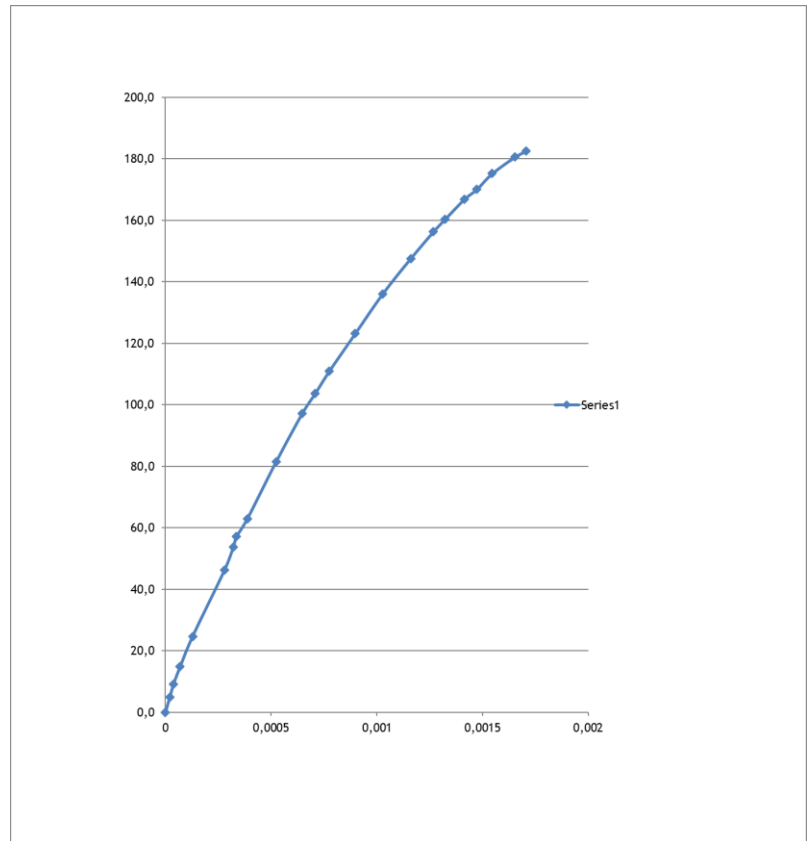
Esfuerzo-Deformación

F'c max =	206.0 kg/cm ²	0.4f'c =	82.4 kg/cm ²	w =	2.0420 ton/m ³
Ec (aci) =	178841	Ec (cal) =	176569	e1 =	0.000451
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4216	fc1 =	11.6
α (aci) =	12460	α (cal) =	12301		

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,44	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	C4	Fecha:	05/02/19
% Poliestireno:	40%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
4,9	0,00002052
9,2	0,00003848
14,8	0,00006926
24,7	0,00012826
46,3	0,00027961
53,7	0,00032065
57,1	0,00033604
63,0	0,00038735
81,5	0,00052330
97,2	0,00064643
103,7	0,00070800
111,0	0,00077469
123,2	0,00089782
136,0	0,00102608
147,6	0,00115948
156,3	0,00126721
160,3	0,00132108
166,9	0,00141343
170,1	0,00147243
175,2	0,00154426
180,6	0,00165200
182,6	0,00170587



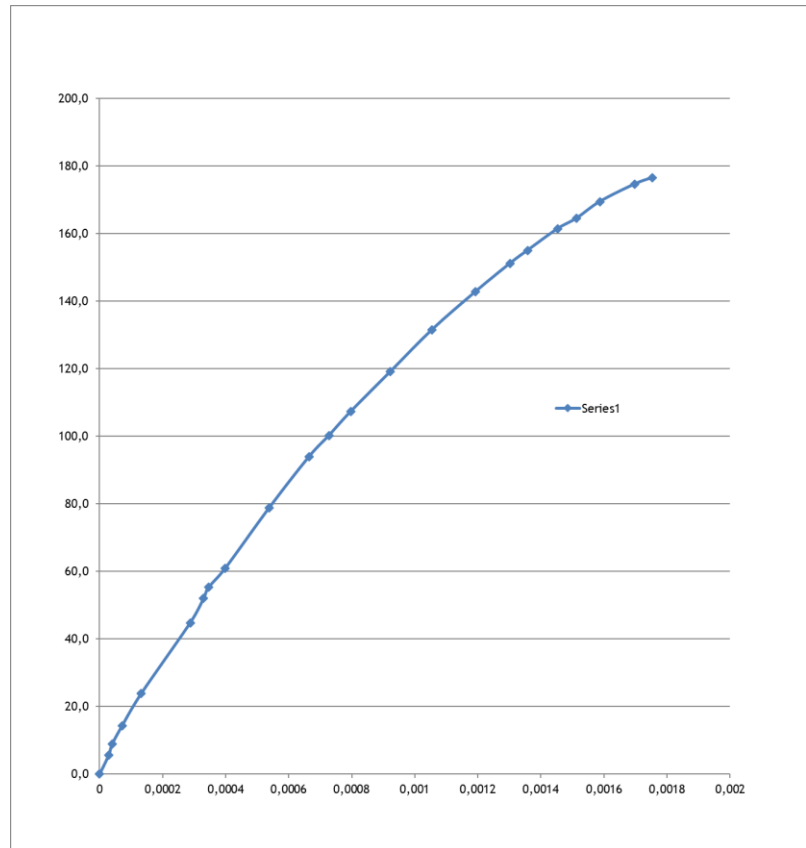
Esfuerzo-Deformación

F'c max =	183.8 kg/cm ²	0.4f'c =	73.5 kg/cm ²	w =	1.9727 ton/m ³
Ec (aci) =	160408	Ec (cal) =	159955	e1 =	0.0004159
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4258	fc1 =	15
α (aci) =	11831	α (cal) =	11797		

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,44	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	C5	Fecha:	05/02/19
% Poliestireno:	40%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
5,7	0,00002900
8,9	0,00003955
14,3	0,00007118
23,9	0,00013182
44,8	0,00028737
52,0	0,00032955
55,3	0,00034537
60,9	0,00039809
78,8	0,00053782
94,0	0,00066437
100,3	0,00072764
107,3	0,00079619
119,2	0,00092274
131,6	0,00105456
142,7	0,00119165
151,2	0,00130238
155,0	0,00135774
161,4	0,00145265
164,5	0,00151329
169,5	0,00158711
174,7	0,00169783
176,6	0,00175320



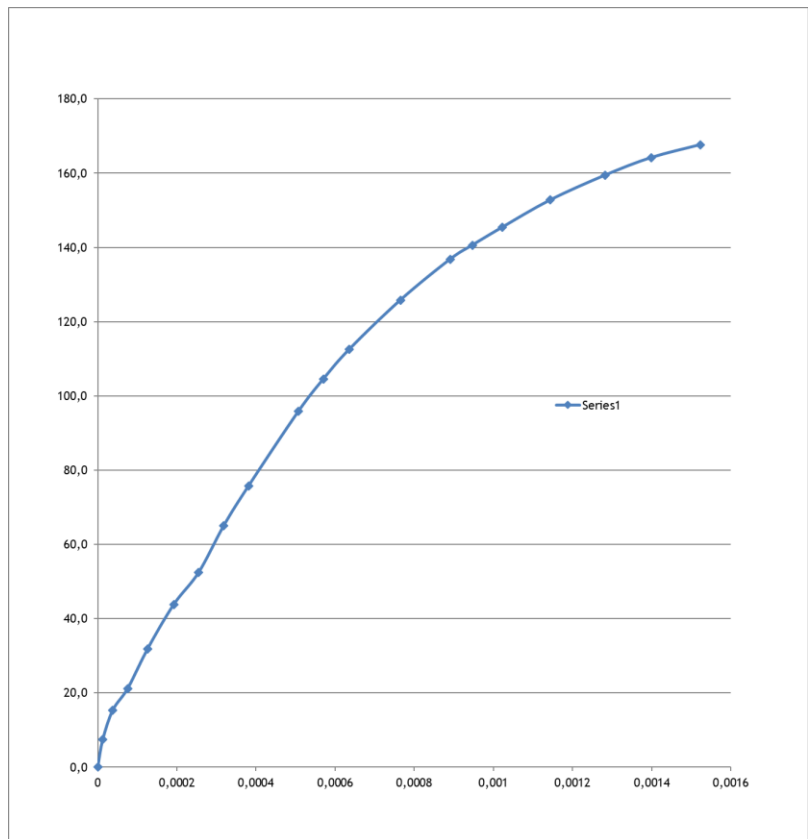
Esfuerzo-Deformación

F'c max = 184.1 kg/cm ²	0.4f'c = 73.6 kg/cm ²	w = 1.9570 ton/m ³
Ec (aci) = 158607	Ec (cal) = 156361	e1 = 0.000458
λ (aci) = 4270	λ (cal) = 4209	fc1 = 9.8
α (aci) = 11690	α (cal) = 11524	

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,44	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	D4	Fecha:	05/02/19
% Poliestireno:	50%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
7,4	0,00001262
15,4	0,00003787
21,2	0,00007575
31,9	0,00012625
43,8	0,00019190
52,5	0,00025502
65,0	0,00031814
75,8	0,00038127
95,9	0,00050752
104,6	0,00057064
112,6	0,00063629
125,8	0,00076506
136,9	0,00089131
140,6	0,00094686
145,4	0,00102261
152,8	0,00114380
159,5	0,00128268
164,2	0,00139882
167,6	0,00152255



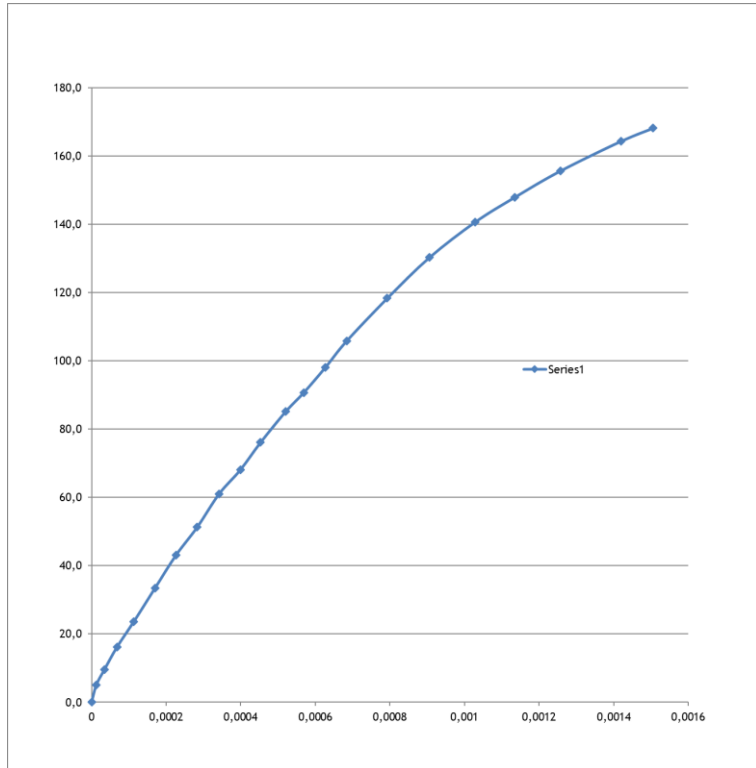
Esfuerzo-Deformación

F'c max =	172.2 kg/cm ²	0.4f'c =	68.9 kg/cm ²	w =	1.9261 ton/m ³
Ec (aci) =	149790	Ec (cal) =	149078	e1 =	0.000319
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4249	fc1 =	28.7
α (aci) =	11415	α (cal) =	11360		

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	240 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,44	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	D5	Fecha:	05/02/19
% Poliestireno:	50%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
5,1	0,00001258
9,5	0,00003397
16,2	0,00006793
23,6	0,00011322
33,4	0,00016984
43,1	0,00022645
51,3	0,00028306
61,1	0,00034193
68,0	0,00039855
76,1	0,00045289
85,2	0,00052083
90,6	0,00056838
98,1	0,00062726
105,8	0,00068387
118,3	0,00079256
130,3	0,00090579
140,6	0,00102807
147,9	0,00113450
155,6	0,00125678
164,3	0,00141982
168,2	0,00150587



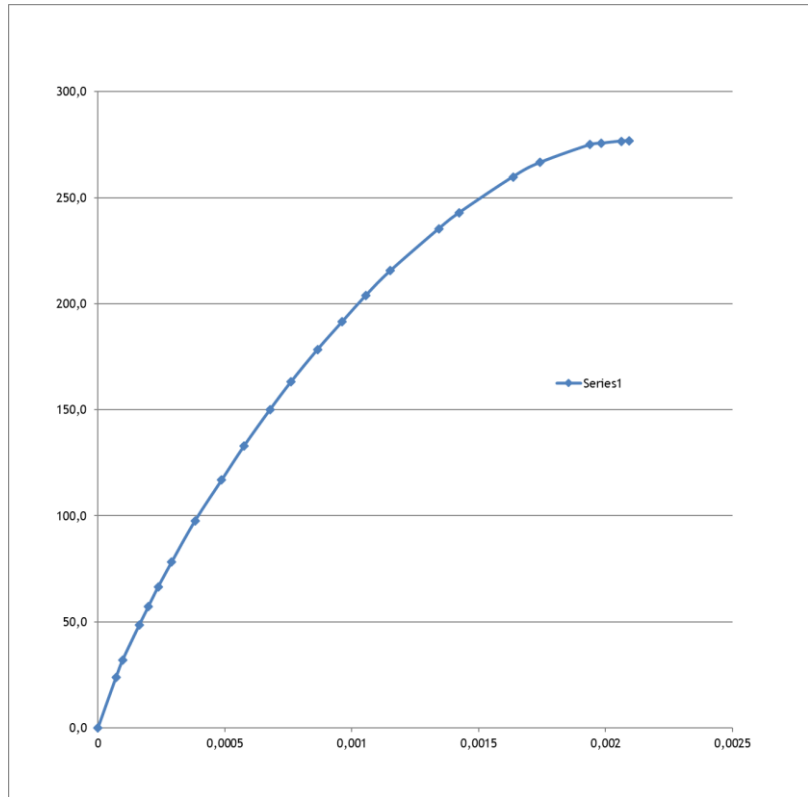
Esfuerzo-Deformación

F'c max = 173.4 kg/cm ²	0.4f'c = 69.4 kg/cm ²	w = 1.8464 ton/m ³
Ec (aci) = 141085	Ec (cal) = 140588	e1 = 0.000399
λ (aci) = 4270	λ (cal) = 4255	fc1 = 20.3
α (aci) = 10713	α (cal) = 10676	

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,5	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	2.2-P	Fecha:	13/11/18
% Poliestireno:	0%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
23,7	0,00007069
32,1	0,00009744
48,4	0,00016239
57,2	0,00019869
66,4	0,00023690
78,2	0,00029040
97,6	0,00038210
116,8	0,00048718
132,8	0,00057506
150,1	0,00067823
163,1	0,00076038
178,4	0,00086545
191,6	0,00096289
204,0	0,00105650
215,5	0,00115203
235,4	0,00134308
242,9	0,00142332
259,8	0,00163538
266,6	0,00174237
275,0	0,00193915
275,6	0,00198309
276,7	0,00206142
276,8	0,00209199



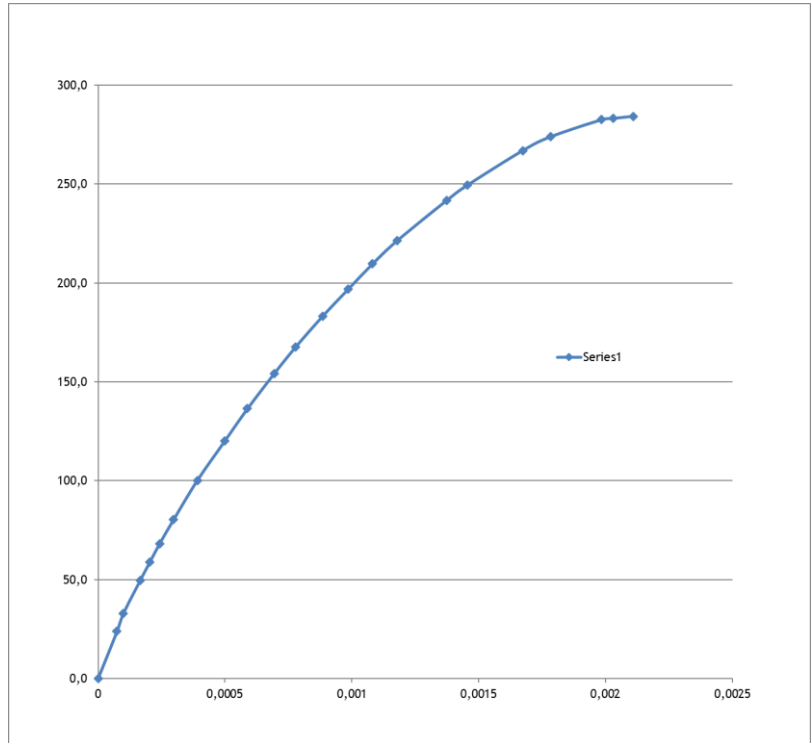
Esfuerzo-Deformación

F'c max =	285.1 kg/cm ²	0.4f'c =	114.0 kg/cm ²	w =	2.3049 ton/m ³
Ec (aci) =	252305	Ec (cal) =	251532	e1 =	0.000435
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4257	fc1 =	17.2
α (aci) =	14942	α (cal) =	14896		

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,5	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	2.4-P	Fecha:	13/11/18
% Poliestireno:	0%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
23,8	0,00007430
32,9	0,00009972
49,7	0,00016620
58,8	0,00020335
68,2	0,00024246
80,3	0,00029721
100,2	0,00039106
120,0	0,00049860
136,4	0,00058855
154,2	0,00069413
167,6	0,00077821
183,3	0,00088575
196,8	0,00098547
209,6	0,00108128
221,4	0,00117905
241,8	0,00137458
249,5	0,00145670
266,9	0,00167374
273,9	0,00178324
282,5	0,00198463
283,1	0,00202960
284,2	0,00210977



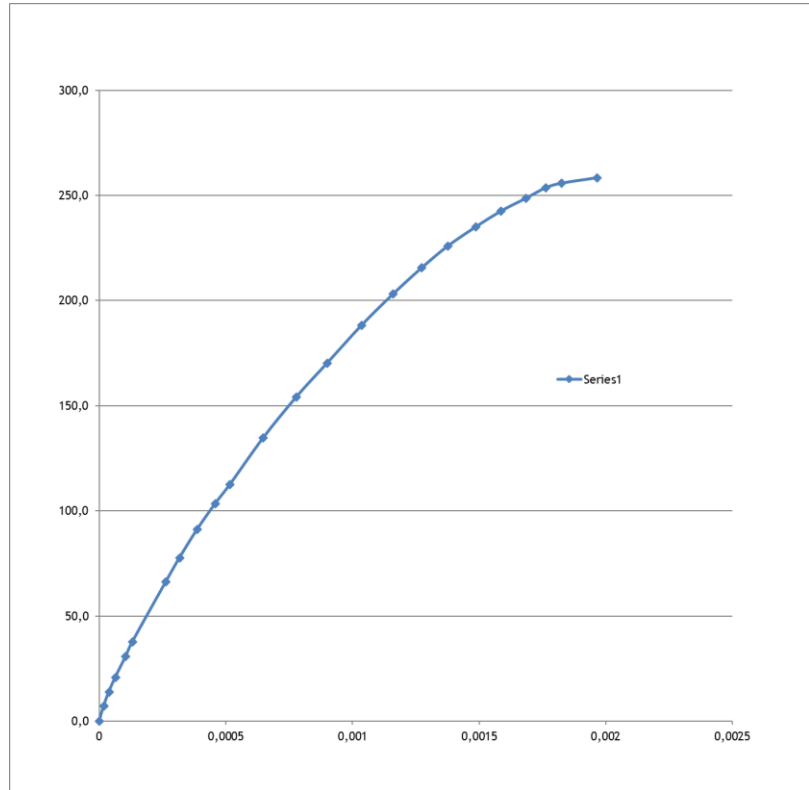
Esfuerzo-Deformación

F'c max = 283.9 kg/cm ²	0.4f'c = 113.6 kg/cm ²	w = 2.2956 ton/m ³
Ec (aci) = 250238	Ec (cal) = 249393	e1 = 0.000441
λ (aci) = 4270	λ (cal) = 4255	fc1 = 16
α (aci) = 14851	α (cal) = 14801	

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,5	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	E5	Fecha:	06/02/19
% Poliestireno:	20%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
7,3	0,00001790
14,0	0,00003836
20,9	0,00006393
30,9	0,00010484
37,6	0,00013041
66,3	0,00026338
77,7	0,00031708
91,1	0,00038612
103,4	0,00045771
112,6	0,00051653
134,6	0,00064694
154,0	0,00077735
170,2	0,00090008
188,2	0,00103561
203,1	0,00116090
215,6	0,00127341
225,8	0,00137570
234,9	0,00148565
242,4	0,00158538
248,6	0,00168510
253,5	0,00176181
255,7	0,00182574
258,3	0,00196638



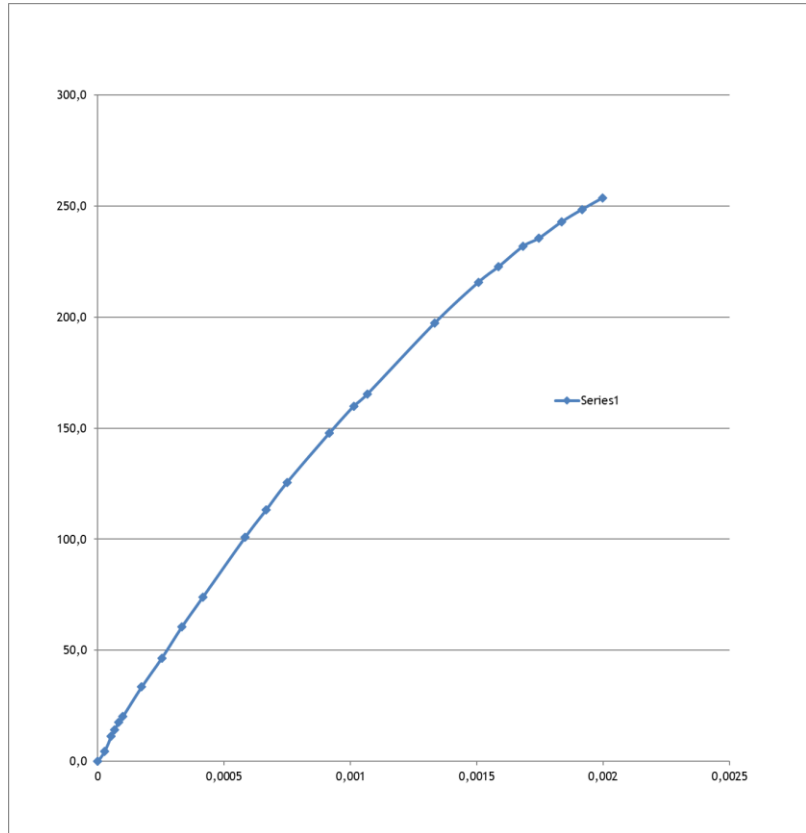
Esfuerzo-Deformación

F'c max =	261.3 kg/cm ²	0.4f'c =	104.5 kg/cm ²	w =	2.1369 ton/m ³
Ec (aci) =	215602	Ec (cal) =	214158	e1 =	0.000439
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4241	fc1 =	21.2
α (aci) =	13338	α (cal) =	13249		

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,5	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	E4	Fecha:	06/02/19
% Poliestireno:	20%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
4,4	0,00002665
11,3	0,00005329
14,3	0,00006662
17,6	0,00008327
20,3	0,00009993
33,5	0,00017321
46,5	0,00025315
60,6	0,00033309
74,0	0,00041636
100,8	0,00058290
113,2	0,00066617
125,7	0,00074945
147,7	0,00091599
159,9	0,00101258
165,2	0,00106588
197,2	0,00133235
215,6	0,00150555
222,6	0,00158549
231,8	0,00168209
235,4	0,00174538
242,8	0,00183531
248,3	0,00191525
253,6	0,00199852



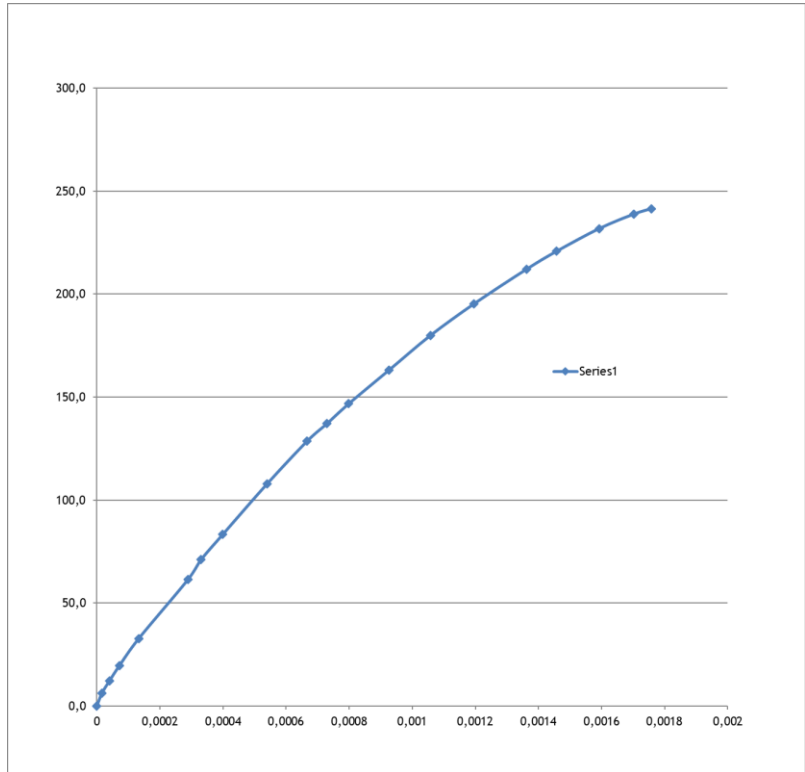
Esfuerzo-Deformación

F'c max =	262.9 kg/cm ²	0.4f'c =	105.2 kg/cm ²	w =	2.1341
Ec (aci) =	215859	Ec (cal) =	210107	e1 =	0.000492
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4156	fc1 =	12.3
α (aci) =	13312	α (cal) =	12957		

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,5	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	F4	Fecha:	06/02/19
% Poliestireno:	30%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
6,2	0,00001587
12,1	0,00003967
19,6	0,00007140
32,6	0,00013223
61,3	0,00028826
71,1	0,00033058
83,3	0,00039934
107,8	0,00053950
128,5	0,00066644
137,1	0,00072992
146,8	0,00079868
163,0	0,00092562
179,9	0,00105785
195,2	0,00119537
212,0	0,00136198
220,7	0,00145719
231,8	0,00159206
238,9	0,00170314
241,5	0,00175867



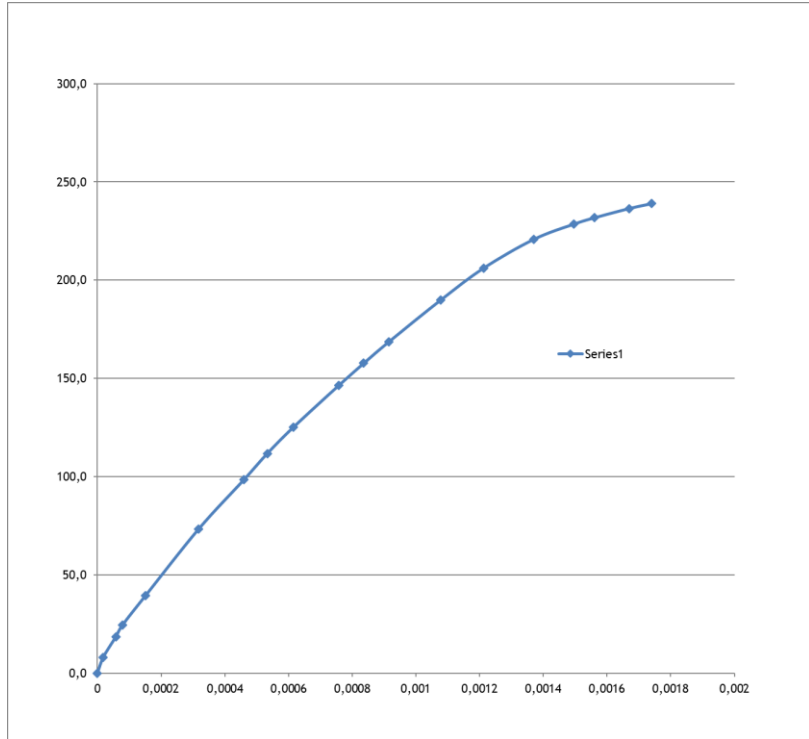
Esfuerzo-Deformación

F'c max =	212.1 kg/cm ²	0.4f'c =	84.8 kg/cm ²	w =	2.0642 ton/m ³
Ec (aci) =	184415	Ec (cal) =	181274	e1 =	0.000449
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4197	fc1 =	12.4
α (aci) =	12663	α (cal) =	12448		

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,5	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	F5	Fecha:	06/02/19
% Poliestireno:	30%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
8,1	0,00001818
18,5	0,00005757
24,5	0,00007878
39,6	0,00015149
73,4	0,00031814
98,6	0,00046054
111,8	0,00053326
125,1	0,00061507
146,4	0,00075747
157,7	0,00083625
168,6	0,00091503
190,0	0,00107864
206,1	0,00121196
220,7	0,00136951
228,6	0,00149677
231,8	0,00156039
236,5	0,00166947
238,9	0,00173916



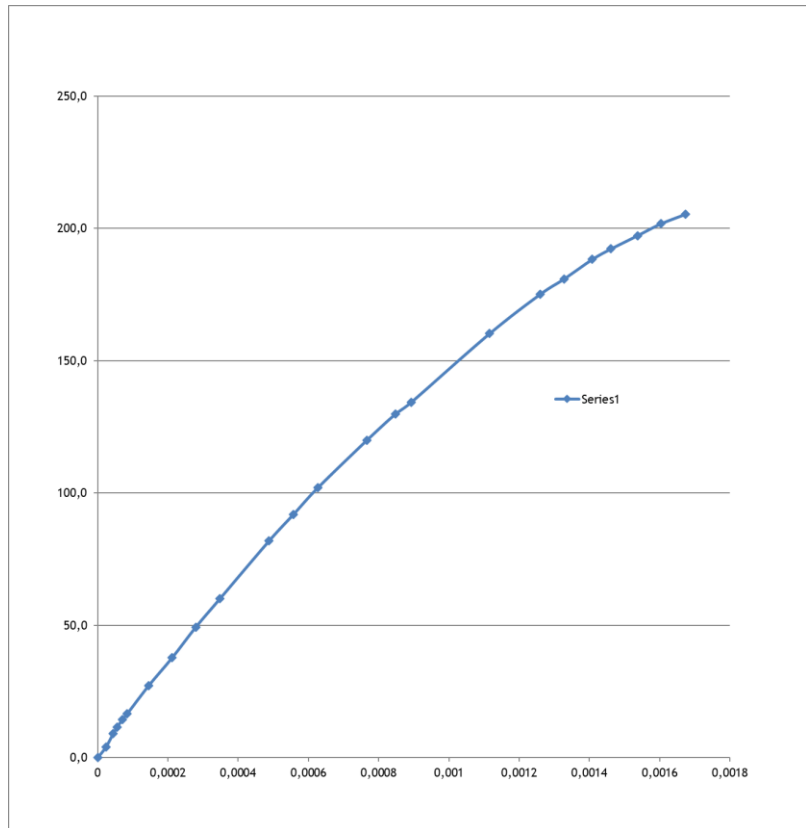
Esfuerzo-Deformación

F'c max =	213.8 kg/cm ²	0.4f'c =	85.5 kg/cm ²	w =	2.0547 ton/m ³
Ec (aci) =	183874	Ec (cal) =	180676	e1 =	0.000443
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4195	fc1 =	14.5
α (aci) =	12576	α (cal) =	12357		

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,5	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	G2	Fecha:	06/02/19
% Poliestireno:	40%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
4,0	0,00002364
9,2	0,00004462
11,6	0,00005578
14,3	0,00006973
16,5	0,00008367
27,2	0,00014503
37,8	0,00021197
49,3	0,00027891
60,2	0,00034863
81,9	0,00048809
92,0	0,00055781
102,1	0,00062754
120,0	0,00076699
129,9	0,00084787
134,3	0,00089250
160,2	0,00111562
175,2	0,00126066
180,9	0,00132759
188,3	0,00140848
192,3	0,00146147
197,3	0,00153677
201,8	0,00160371
205,3	0,00167344



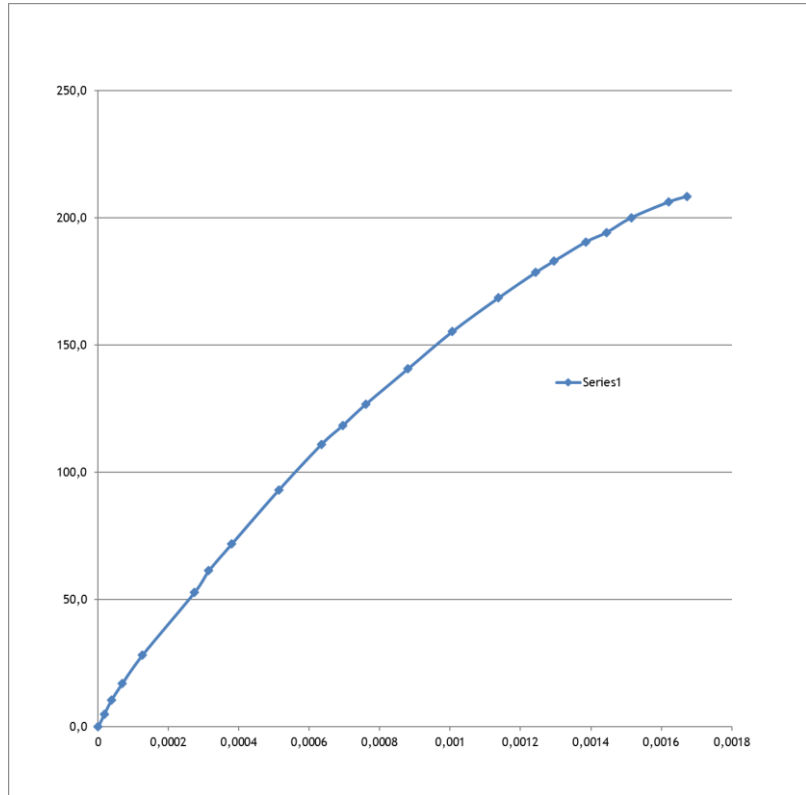
Esfuerzo-Deformación

F'c max = 243.1 kg/cm ²	0.4f'c = 97.3 kg/cm ²	w = 2.0043 ton/m ³
Ec (aci) = 188934	Ec (cal) = 184348	e1 = 0.000472
λ (aci) = 4270	λ (cal) = 4166	fc1 = 19.5
α (aci) = 12116	α (cal) = 11822	

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,5	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	G4	Fecha:	06/02/19
% Poliestireno:	40%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
5,0	0,00001761
10,5	0,00003774
16,9	0,00006793
28,2	0,00012580
52,9	0,00027425
61,4	0,00031451
71,9	0,00037993
93,1	0,00051328
111,0	0,00063405
118,4	0,00069444
126,7	0,00075986
140,8	0,00088063
155,4	0,00100643
168,6	0,00113727
178,6	0,00124294
183,1	0,00129578
190,6	0,00138636
194,3	0,00144423
200,1	0,00151468
206,3	0,00162035
208,5	0,00167319



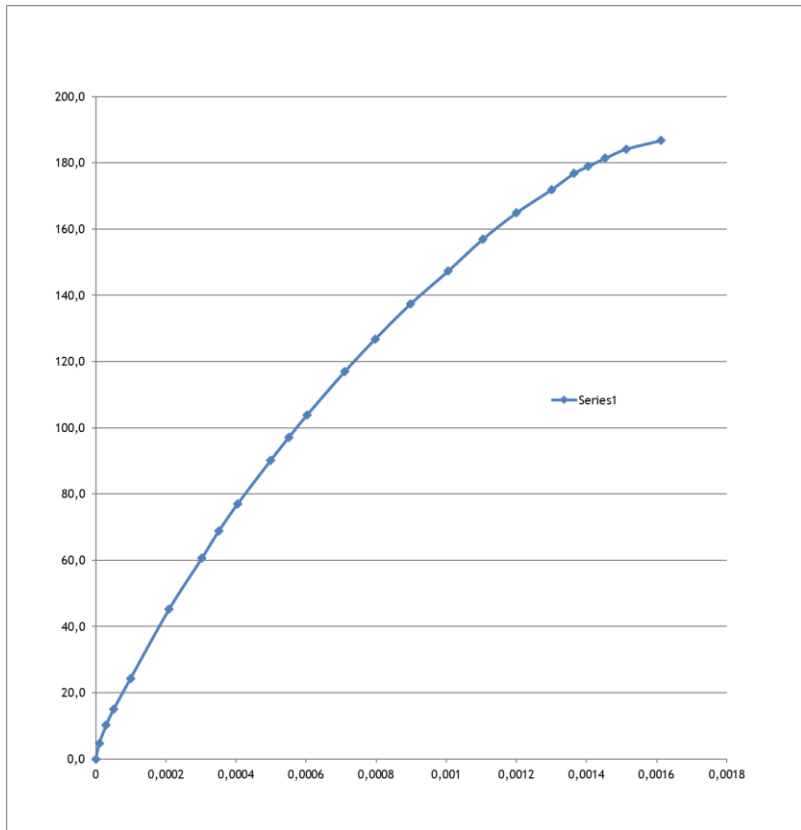
Esfuerzo-Deformación

F'c max =	243.1 kg/cm ²	0.4f'c =	97.2 kg/cm ²	w =	1.9656 ton/m ³
Ec (aci) =	183464	Ec (cal) =	182395	e1 =	0.000461
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4245	fc1 =	22.3
α (aci) =	11767	α (cal) =	11699		

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,5	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	H4	Fecha:	06/02/19
% Poliestireno:	50%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
4,7	0,00001036
10,2	0,00002991
15,1	0,00005185
24,4	0,00009971
45,2	0,00020939
60,7	0,00030312
68,8	0,00035099
77,0	0,00040483
90,1	0,00049856
97,1	0,00055041
103,8	0,00060226
116,9	0,00070995
126,8	0,00079769
137,4	0,00089741
147,3	0,00100509
157,0	0,00110481
164,9	0,00120053
171,9	0,00130024
176,8	0,00136406
178,9	0,00140394
181,4	0,00145380
184,2	0,00151362
186,8	0,00161334



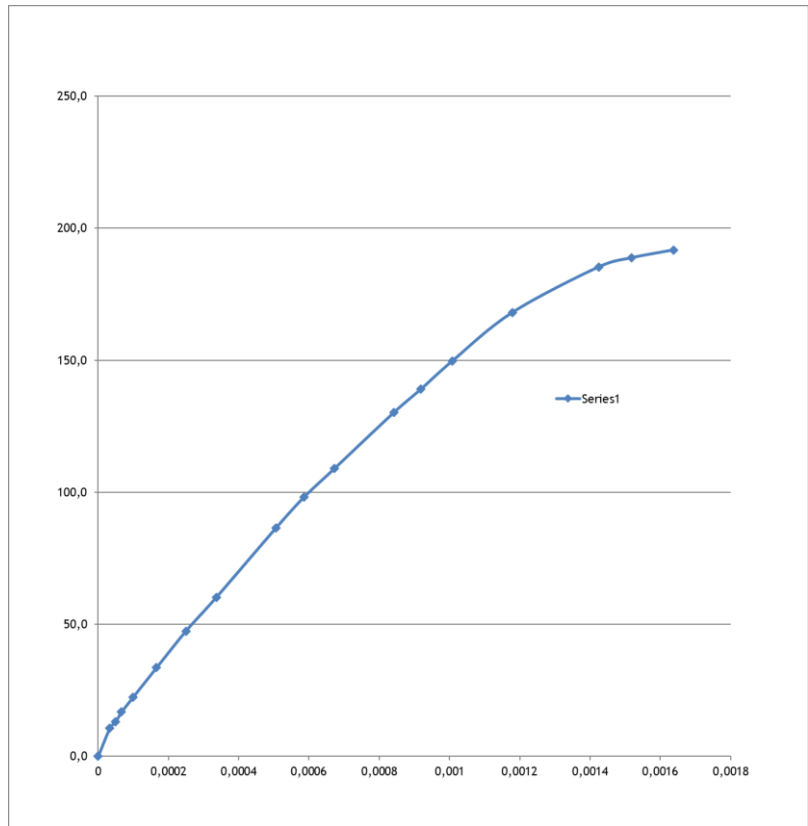
Esfuerzo-Deformación

F'c max =	198.4 kg/cm ²	0.4f'c =	79.4 kg/cm ²	w =	1.8905 ton/m ³
Ec (aci) =	156341	Ec (cal) =	153909.7	e1 =	0.000419
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4203	fc1 =	22.6
α (aci) =	11099	α (cal) =	10926		

Módulo de Elasticidad

Obra:	Tesis	Ensayado por:	E. Toro - G. Villarreal
F'c Esperado:	280 kg/cm ²	Calculado por:	E. Toro - G. Villarreal
Relación A/C:	0,5	Aprobado por:	Ing. Lauro Lara
Muestra:	H5	Fecha:	06/02/19
% Poliestireno:	50%	Edad:	28 días

ESFUERZO	DEFORMACION UNITARIA
kg/cm ²	mm/mm
0,0	0
10,7	0,00003328
13,2	0,00004993
16,8	0,00006657
22,5	0,00009985
33,6	0,00016642
47,4	0,00024964
60,2	0,00033618
86,4	0,00050593
98,1	0,00058581
108,9	0,00067235
130,2	0,00084211
139,0	0,00091866
149,7	0,00100853
168,0	0,00117828
185,3	0,00142459
188,7	0,00151779
191,7	0,00163761

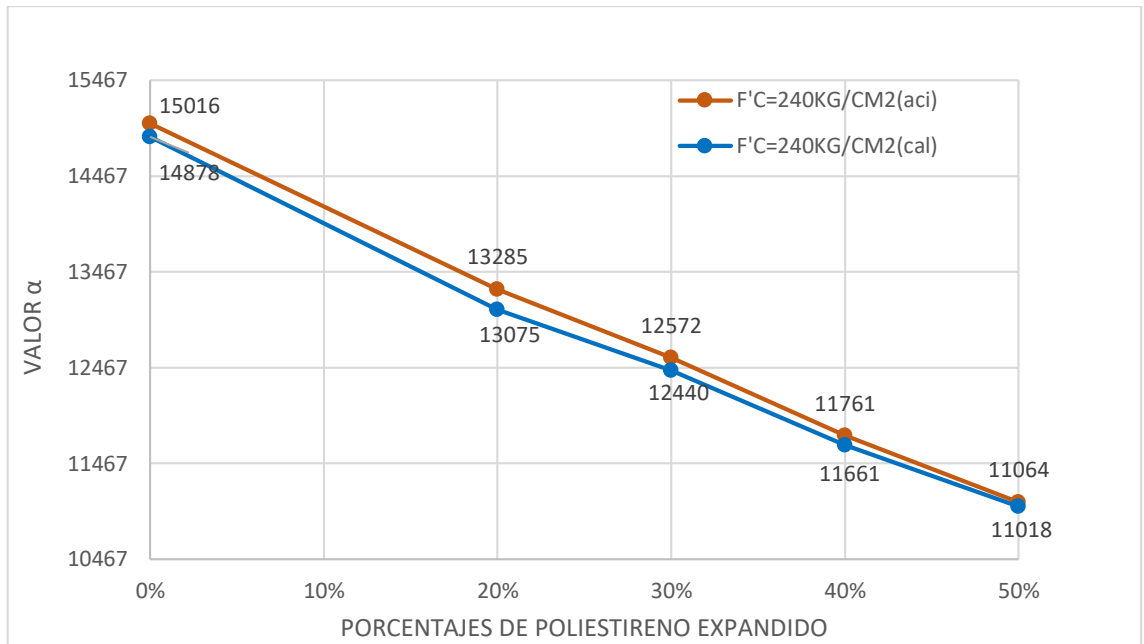


Esfuerzo-Deformación

F'c max =	199.4 kg/cm ²	0.4f'c =	79.8 kg/cm ²	w =	1.7686 ton/m ³
Ec (aci) =	141825	Ec (cal) =	141336	e1 =	0.000501
λ (aci) =	4270	λ (cal) =	4255	fc1 =	16
α (aci) =	10043	α (cal) =	10008		

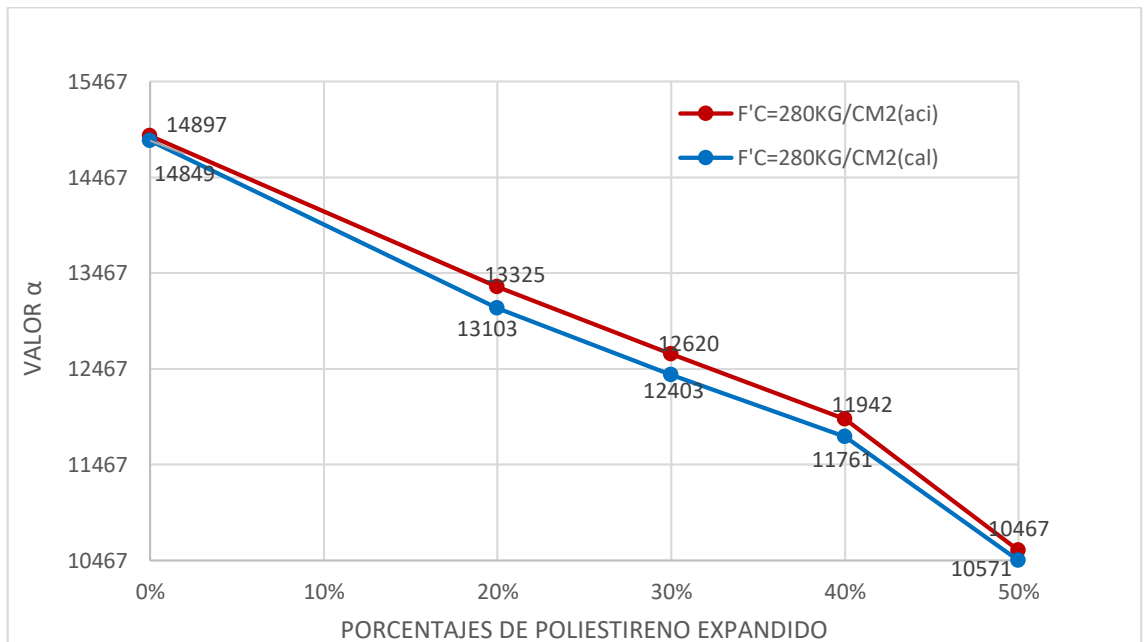
4.3.4.1 Resumen de Módulos de Elasticidad

Gráfica 4.22 Valores de α para un $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$



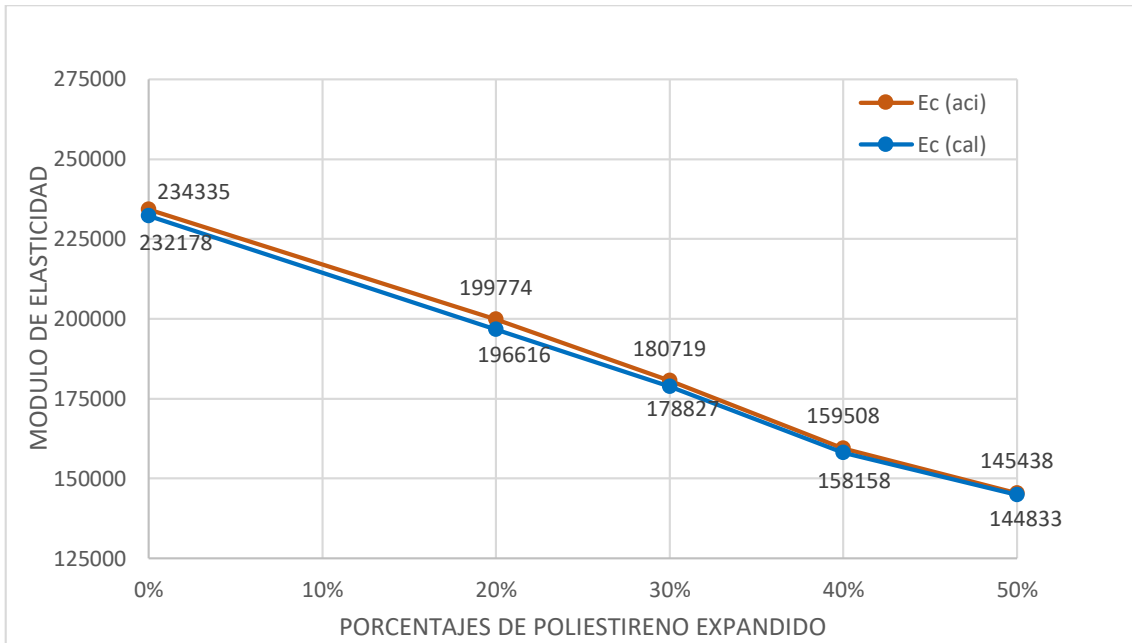
Fuente: Propia

Gráfica 4.23 Valores de α para un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$



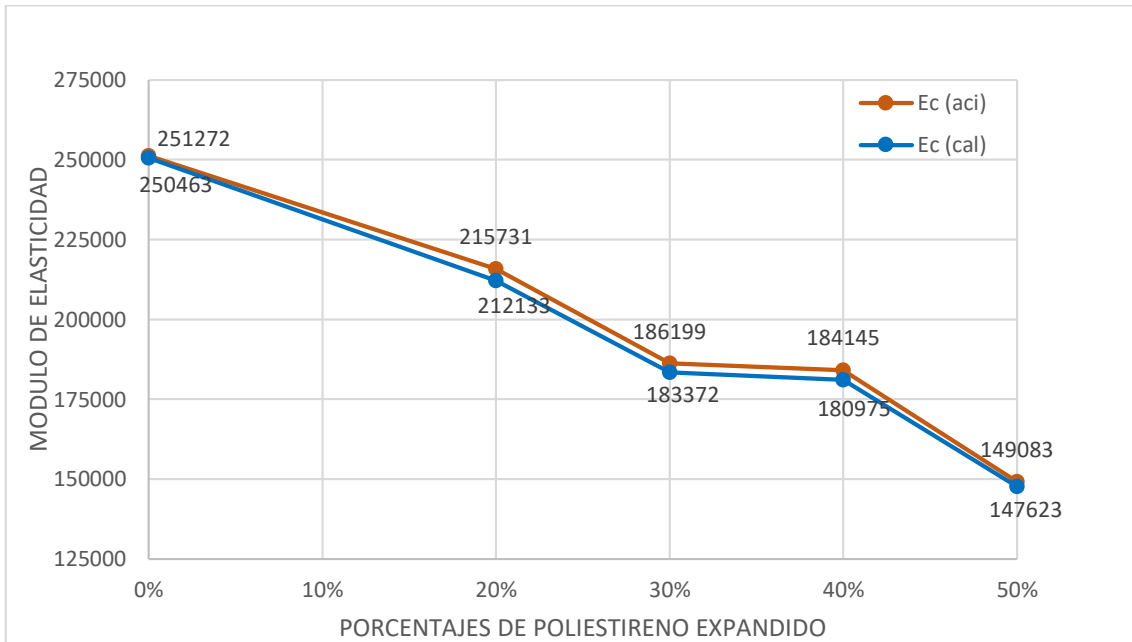
Fuente: Propia

Gráfica 4.24 Módulo de Elasticidad para un $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$



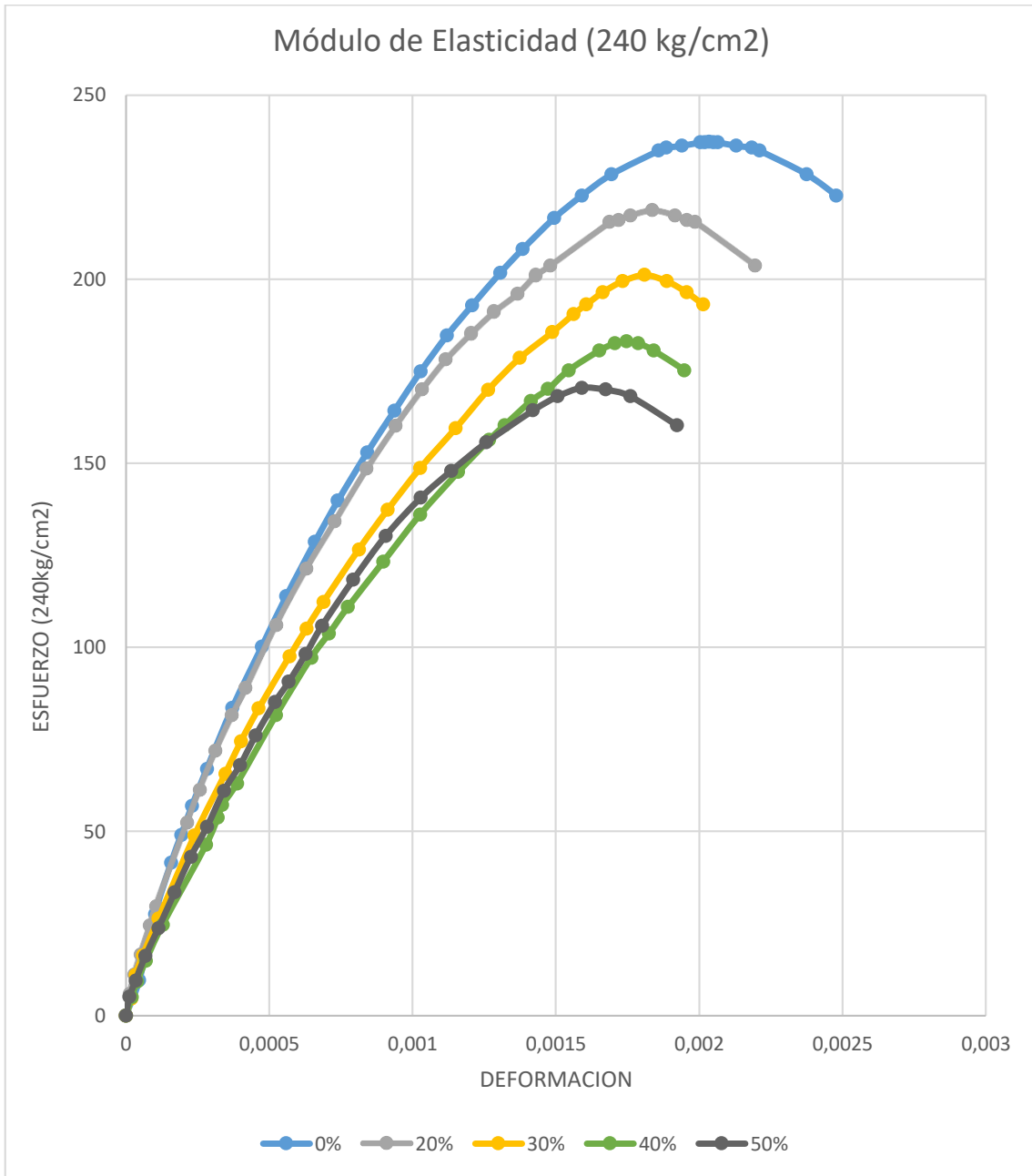
Fuente: Propia

Gráfica 4.25 Módulo de Elasticidad para un $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$



Fuente: Propia

Gráfica 4.26 Curva del Módulo de Elasticidad (240 kg/cm²)



Fuente: Propia

Capítulo V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Luego de haber analizado los resultados obtenidos, se observó que la sustitución de distintos porcentajes de agregado fino por perlas de EPS, afecta de una manera inversamente proporcional a las propiedades físico-mecánicas del hormigón endurecido a la edad de 28 días. En base a lo expuesto, se concluye lo siguiente:

- Al observar las gráficas 4.6 y 4.7, se puede concluir que la resistencia a la compresión baja a medida que se añade más EPS a la mezcla, obteniendo en la primera una reducción del 9% al 32% para un hormigón de 280 kg/cm² y del 8% al 30% para el de 240 kg/cm².
- La gráfica 4.5, de la pérdida de densidad según el porcentaje de EPS nos permite determinar que la sustitución de los áridos finos por perlas de EPS reducen de manera directa a su densidad, obteniendo una reducción del 8% al 21% en un hormigón de 280 kg/cm² y del 8% al 19% para uno de 240 kg/cm².
- Al comparar los esfuerzos a tracción por flexión con los de compresión (gráfica 4.11), se observa como los porcentajes de esfuerzo a tracción decrecen a medida que se incrementa el EPS en la mezcla, estos varían entre el 18% y 15% para un hormigón de 240 kg/cm².
- En la gráfica 4.16 comparativo de esfuerzo a tracción por método brasileño con el esfuerzo de compresión, se presenta una reducción entre el 14% y 12%. Se Observa que la gráfica presenta un comportamiento, en donde existe una mayor pendiente en el rango del 0% al 20% de EPS; mientras que entre el 20% y 40% la pendiente se mantiene constante, terminado con decreciente significativa hasta el 50% de EPS.

- En la gráfica 4.12, se compara en porcentaje el esfuerzo de tracción por flexión con el esfuerzo a compresión, en la que se evidencia que los porcentajes del esfuerzo a tracción tiene una ligera disminución entre el 16,9% y el 16,5% hasta que se añade el 40% de EPS, a partir de este porcentaje la gráfica refleja una decreciente significativa entre el 16,5% al 15% para un hormigón de 280 kg/cm².
- Comparando el esfuerzo de tracción por compresión (método brasileño) con el esfuerzo a la compresión para un hormigón de 280 kg/cm² (gráfica 4.12), se observa que el esfuerzo a tracción existe una ligera disminución entre los porcentajes del 13% al 12%.
- En las gráficas comparativas entre el esfuerzo de tracción por flexión con el esfuerzo de tracción por compresión (método brasileño) 4.20 y 4.21, se observa una pendiente decreciente en los rangos de 0% al 20% de EPS, a partir de este porcentaje la gráfica presenta una gráfica creciente.
- Con los resultados obtenidos en la investigación, las únicas muestras que se puedan considerar para hormigón ligero estructural según ACI y 318 14 son las que se reemplazaron el 50% del agregado fino por EPS y ya que cumplen con los dos parámetros de densidad menor a 1842 kg/m³ y resistencia la compresión mayor a 170 kg/cm².
- En la gráfica 4.22 y 4.23, para los valores de α presenta un similar comportamiento tanto para la resistencia de 240 kg/cm² y 280 kg/cm² observando en ella una pendiente decreciente; entre los valores 14878 y 11018, 14849 y 10467 respectivamente.

- Se observa en las gráficas 4.26 y 4.27 de módulo de elasticidad, que al aumentar el porcentaje de EPS tenemos una disminución en el esfuerzo de rotura y en la deformación unitaria, lo que produce al hormigón una falla más frágil comparada al del hormigón normal.

5.2. Comentarios

- De acuerdo con los resultados obtenidos, la densidad se reduce a medida que se incrementa el EPS en el hormigón, por lo que esto va acorde con lo esperado, debido a que la densidad de la arena es mayor que la densidad del EPS, pues la arena representa aproximadamente del 25% de la densidad del hormigón.
- Se puede establecer que la reducción del esfuerzo a la compresión se debe, a que la rigidez de las perlas de EPS no es comparable al del agregado sustituido en la mezcla de hormigón, disminuyendo así su resistencia a la compresión a medida que se añade más EPS.
- Para el esfuerzo de tracción se puede observar, que al aumentar las perlas del EPS se produce una reducción al esfuerzo de adherencia entre las partículas del hormigón, al igual que disminuye el área sometida al esfuerzo de tracción.
- Por otra parte, al reducir la relación agua/cemento, para aumentar la resistencia del hormigón a 280 kg/cm^2 , se consiguió una mejor adherencia entre el EPS y la pasta cementante, manteniendo constante el porcentaje de esfuerzo a la tracción.

5.3. Recomendaciones

- Los hormigones alivianados con EPS son una alternativa que puede ser usada en elementos no estructurales, como aceras, bordillos u otros elementos que no soportan carga como paneles divisorios, pero además son una alternativa de hormigón estructural en construcciones pequeñas, sin grandes luces, o proyectos de vivienda social.
- En estructuras de mayor importancia, por el momento, no se recomienda utilizar el hormigón armado con EPS, debido a que no se han realizado estudios del comportamiento de acero y el EPS. Además, los módulos presentan valores muy bajos provocando deformaciones mayores gracias a que su rigidez disminuye.
- Se recomienda que, para futuras investigaciones sobre el tema, a la dosificación se utilice un aditivo plastificante para mejorar y mantener la uniformidad del EPS en las muestras ensayada.

LISTA DE REFERENCIAS

- Aislantes, A. N. (2007). *Soluciones con Aislamiento de Poliestireno Expandido (EPS)*. Madrid: Instituto para la Diversificación y.
- American Society for Testing Materials. C40/C40M – 11: Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete. Pensilvania, ASTM, 2011.
- American Society for Testing Materials. C109/C109M – 13: Standard test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or [50-mm] Cube Specimens). Pensilvania, ASTM, 2013.
- American Society for Testing Materials. C131/C131M – 14: *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. Pensilvania, ASTM, 2014.
- American Society for Testing Materials. C143/C143M – 15: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. Pensilvania, ASTM, 2015.
- American Society for Testing Materials. C151/C151M – 15: Standard Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement.. Pensilvania, ASTM, 2015.
- Ángel Francisco Nistal Cordero, M. J. (2012). EL HORMIGÓN: HISTORIA, ANTECEDENTES EN OBRAS Y FACTORES. *Revista Tecnológica y desarrollo*, 4-5.
- Azqueta, P. (2014). *Manual Práctico de Aislamiento Térmico en la Construcción*. Buenos Aires, Argentina: Nobuko.
- Briceno, (S/F). *GRAVEDAD ESPECÍFICA: FÓRMULA Y UNIDADES, CÓMO CALCULARLA*. Obtenido de: <https://www.lifeder.com/gravedad-especifica/>
- Castro, N. y Paredes, A. (2015). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR: *EVALUACIÓN DE HORMIGONES CON ALTO CONTENIDO DE MATERIAL FINO QUE PASA POR EL TAMIZ N°200*. Quito, Ecuador.
- Cerón M., Duarte F., Castillo W. (1996). *PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS DE LA CIUDAD DE MÉRIDA*. “Boletín académico FIUADY,” (México), (31), p. 27.
- Cetesa. (2017). *¿QUÉ ES EL CEMENTO Y CUÁL ES SU COMPOSICIÓN?* . Obtenido de: <http://www.cetesa.com.co/que-es-el-cemento-y-cual-es-su-composicion/>
- Chang, J. (2003). UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN: *INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO*. Mérida, México.
- Comercio, E. (16 de Agosto de 2014). Canteras de Quito. *El Comercio*. Obtenido de: <http://www.elcomercio.com/opinion/opinion-editorial-canteras-san-antonio.html>
- Construyored. (2018). *DATOS SOBRE JOHN SMEATON, EL PADRE DE LA INGENIERÍA CIVIL*. Obtenido de: <https://construyored.com/noticias/1984-datos-sobre-john-smeaton-el-padre-de-la-ingenieria-civil>
- Ebensperger, L. y Torrent, R. (2016). *DURABILIDAD Y VIDA ÚTIL DEL HORMIGÓN*. Obtenido de: <http://www.umag.cl/facultades/ingenieria/construccion/wp->

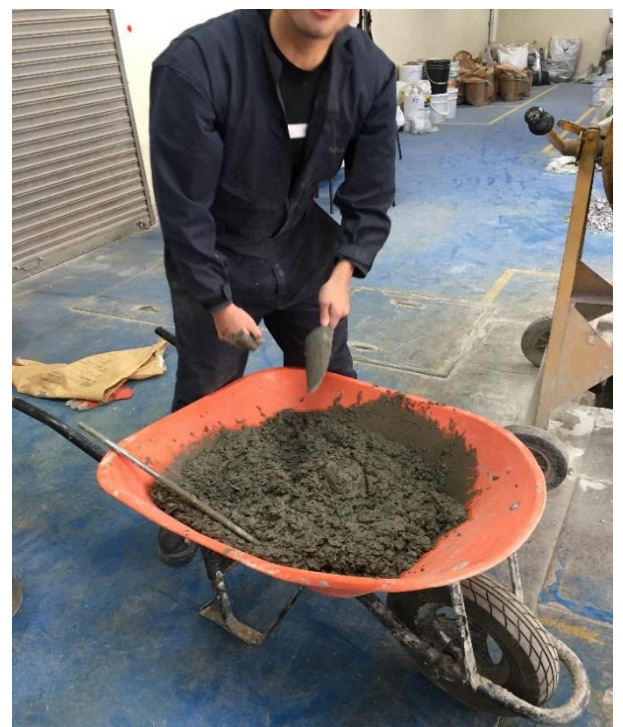
- Española, A. N. (12 de 02 de 2019). *Asociación Nacional de Poliestireno Expandido Española*. Obtenido de: Asociación Nacional de Poliestireno Expandido Española: <http://www.construccion-eps.com/index.php?accion=producto>
- Espinoza, C. y Guzñay, D. (2013). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL: *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EXPOST DE LA CANTERA SAN ANTONIO UBICADA EN LA PARROQUIA LA AURORA DEL CANTON DAULE*. Guayaquil, Ecuador.
- FAO. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. (2019). *ECOLOGIA Y ENSEÑANZA RURAL NOCIONES AMBIENTALES BÁSICAS PARA PROFESORES RURALES Y EXTENSIONISTAS*. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/W1309S/w1309s00.htm#TopOfPage>
- Fraay, A. &. (1989). *The reaction of fly ash in concrete a critical examination*. Pennsylvania State University,: Cement and Concrete Research.
- González, F. (2004). *MANUAL DE SUPERVISIÓN DE OBRAS DE CONCRETO*. Balderas, México: NORIEGA EDITORES.
- Gorka Álvarez Palacios, E. S. (2012). *Hormigón ligero : aspectos técnicos y estéticos*. Madrid: CEMEX.
- Horiguchi, K. (1994). *The rate of carbonation i n concrete made with*. Detroit, Michigan: Malhotra, ACI.
- IECA. INSTITUTO ESPAÑOL DELCEMENTO Y SUS APLICACIONES. (2019). *COMPONENTES Y PROPIEDADES DEL CEMENTO*. Obtenido de: <https://www.ieca.es/componentes-y-propiedades-del-cemento/>
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2009). NTE INEN 156: *CEMENTO HIDRAÚLICO. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO. MÉTODO DE VICAT*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2009). NTE INEN 158: *CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO. MÉTODO VICAT*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2009). NTE INEN 196: *CEMENTO HIDRAÚLICO. DETERMINACIÓN DE LA FINURA MEDIANTE EL APARATO DE PERMEABILIDAD AL AIRE*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2009). NTE INEN 488: *CEMENTO HIDRAÚLICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EN CUBOS DE 50mm DE ARISTA*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana n. (2010). NTE INEN 1573: *DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILINDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO*. Quito, Ecuador.

- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2010). NTE INEN 697: *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ CON ABERTURAS DE 75 UM (NO. 200), MEDIANTE LAVADO*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2010). NTE INEN 698: *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2010). NTE INEN 855: *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL ÁRIDO FINO PARA HORMIGÓN*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2010). NTE INEN 856: *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2010). NTE INEN 857: *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2010). NTE INEN 858: *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACIOS*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2011). NTE INEN 696: *ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS. FINO Y GRUESO*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2011). NTE INEN 860: *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37,5 MM MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2011). NTE INEN 862: *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2011). NTE INEN 863: *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO O DE SULFATO DE MAGNESIO*. Quito, Ecuador.
- INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana. (2016). NTE INEN 3063: *HORMIGÓN CON FIBRAS DE ACERO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR FLEXIÓN (LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD (LOP), RESISTENCIA RESIDUAL)*. Quito, Ecuador.
- INGENIERÍA CIVIL. (2010). *CURVAS GRANULOMÉTRICAS* Obtenido de: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/05/52-curvas-granulometricas.html>
- Luis Valdez, G. S. (2015). *Hormigones Livianos*. Guayaquil: ESPOL.
- Mehta, P. K. (Octubre de 2001). La reducción del impacto ambiental del hormigón. *Concrete International*, 10. Obtenido de: <http://www.actualizarmiweb.com/sites/icpa/publico/Tapas%20Editoriales/DOCUMENTOS%20WEB/mehtahor.pdf>

- Montoya, J. (1974). *HORMIGON ARMADO*. BARCELONA: GUSTAVO GILI.
- Neville A. (1999). "Tecnología del concreto," IMCYC, México, p. 163.
- Neville, A. M. (2013). *Tecnología del Concreto*. México: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.
- Nistal, A. (2012). UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR: *EL HORMIGÓN: HISTORIA, ANTECEDENTES EN OBRAS Y FACTORES INDICATIVOS DE SU RESISTENCIA*. Villanueva de la Cañada, Madrid.
- Özturan, Ç. (1997). *Effect coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths*. U.S.A.: Cement and concrete research.
- Palbol, L. (1996). Optimización de los agregados para concreto. *Construcción y tecnología*, 9-100.
- Rixom, M. (1984). *Aditivos para los Hormigones Composición, Propiedades y Empleo*. Barcelona: Técnicos Asociados, S.A.,
- Simeón, (2007). *ANALISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ No. 200 (75 um) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO*. Obtenido de: <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/GRANULOMETRIA.pdf>
- Simeón, (2007). *DENSIDAD TOTAL (PESO UNITARIO) Y VACÍOS EN AGREGADOS PARA CONCRETO*. Obtenido de: <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/PESOS%20UNITARIOS%20Y%20%25%20VACIOS.pdf>
- Solis, C. (2005). *Características del Poliestireno Expandido*. Barcelona: Knauf Miret.
- Torre, T. J. (2014). *MANUAL DE PREPARACIÓN, COLOCACIÓN Y CUIDADOS DEL CONCRETO*. Lima: CARTOLAN EDITORES SRL.
- Vera, R. (2013). UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE: *ESTUDIO DE DOSIFICACIONES DE HORMIGONES LIVIANOS CON GRADO SUPERIOR A H-17, UTILIZANDO COMO PATRÓN UN H-20, EN TÉRMINOS DE COSTO-RESISTENCIA, USANDO COMO MATERIA PRIMA POLIESTIRENO EXPANDIDO MODIFICADO EN DISTINTAS PROPORCIONES*. Valdivia, Chile.
- Universidad de Catilla. (S/F). *PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES*. Obtenido de: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_const/EHE08_Materiales.pdf
- Zabalet, H. (1992). *Compendio de Tecnología del Hormigón*. Santiago: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.

ANEXOS

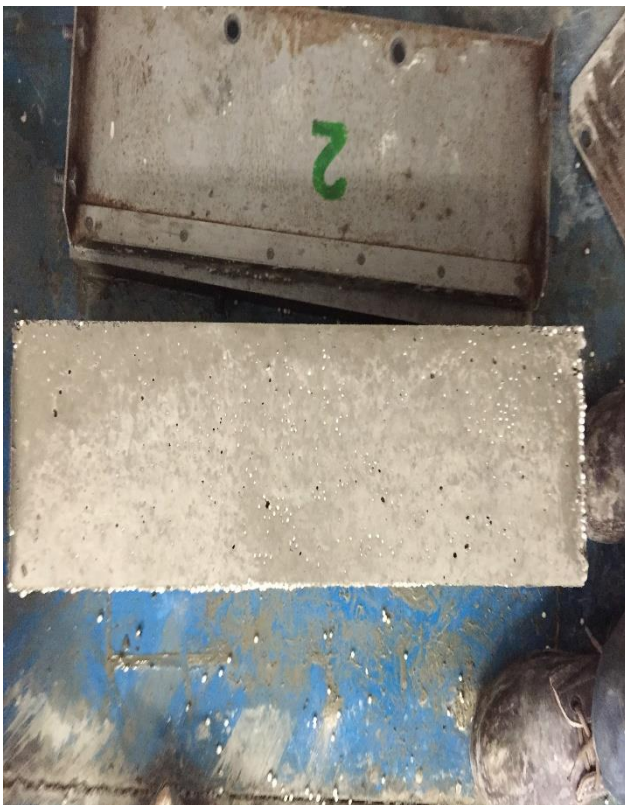
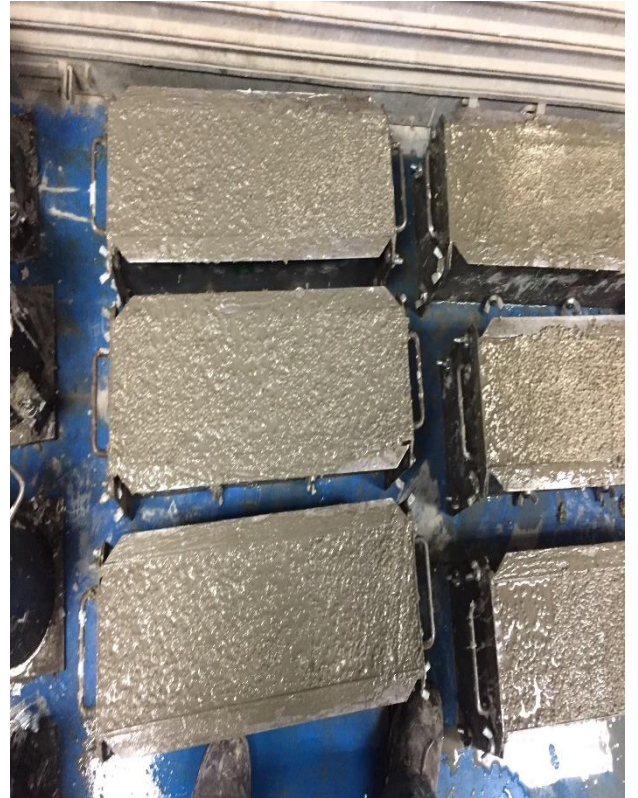
Colocación de EPS en la mezcla



Cilindros con distintos % de EPS



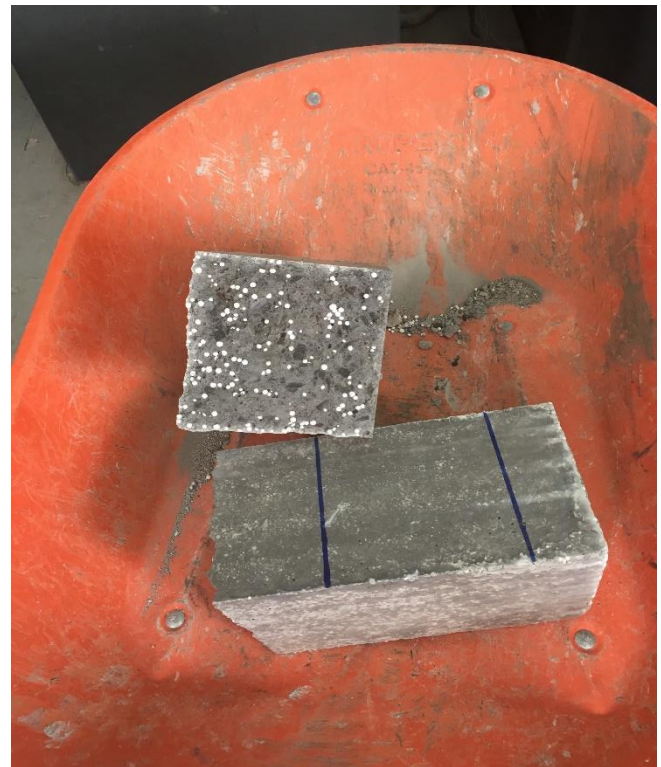
Viguetas con distintos % de EPS



Ensayo de Compresión de Cilindros



Ensayo de Tracción por Flexión



Ensayo de Tracción por Compresión



Ensayo de Módulo de Elasticidad



Uniformidad de Poliéstireno Expandido

