



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA CIVIL**

TEMA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO DE UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO CON LA
INCLUSIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO EXPANDIDO**

TUTOR

ARQ. GENARO GAIBOR ESPÍN, MSC.

AUTORES

**KLENNY VALERIA SANTOS ALAY
JEFFERSON ABRAHAM ZÚÑIGA FORGETT**

GUAYAQUIL

2021



REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO CON LA INCLUSIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO EXPANDIDO.	
AUTORES: Santos Alay Klenny Valeria Zúñiga Forgett Jefferson Abraham	REVISORES O TUTORES: Msc. Arq. Genaro Gaibor Espín.
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero Civil
FACULTAD: Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción	CARRERA: Ingeniero Civil
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2021	N. DE PAGES: 94
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción	
PALABRAS CLAVE: Diseño, construcción, viga, hormigón, material, poliuretano.	
RESUMEN: La gran demanda de construcción en el mundo actual, ha llevado a buscar nuevas tecnologías en materiales, obteniendo resultados favorables en el tiempo y principalmente costos de la obra. La optimización de uso de materiales alrededor del mundo es primordial, puesto que los costos de las materias primas han ido en aumento. El hormigón es un material de uso estructural, el peso que éste genera, muchas veces es un problema en el cálculo de cimientos y en la capacidad portante de suelos por las cargas muertas. Aunque tiene un periodo de vida útil de aproximadamente 50 años presenta problemas de desprendimiento de los agregados gruesos y finos por la pérdida de adherencia, debido a las acciones físicas, químicas, medio ambiente, considerando que el aislamiento térmico y la impermeabilidad del hormigón no es muy bueno.	

Bajo este punto de vista es el uso de materiales, que se ha convertido en una gran alternativa para la industria de la construcción.

Al considerar la espuma de poliuretano expandido como parte del diseño de hormigón esto influirá en el peso de la estructura, más liviana y por consiguiente las cargas que transmite al suelo serán menores a un hormigón armado tradicional. El objetivo principal es disminuir las cargas de una estructura.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Santos Alay Klenny Valeria Zúñiga Forgett Jefferson Abraham	Teléfono: # 0985861928 # 0983078699	E-mail: ksantosa@ulvr.edu.ec jzunigaf@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	<ul style="list-style-type: none"> • Mg. Alex Salvatierra Espinoza Teléfono: 2596500 Ext. 241 Cargo: Decano de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. E-mail: asalvatierra@ulvr.edu.ec • Msc. María Eugenia Dueñas Barberán Cargo: Directora de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. Teléfono: 2596500 Ext. 209 E-mail: mduenasb@ulvr.edu.ec 	

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

Tesis Santos - Zúñiga - Gaibor

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

0%

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

1%

★ Submitted to Universidad Francisco de Paula Santander

Trabajo del estudiante

Excluir citas

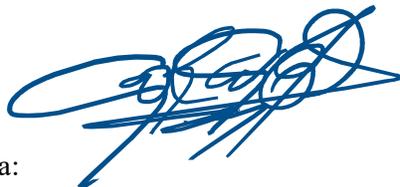
Activo

Excluir coincidencias

< 1%

Excluir bibliografía

Activo



Firma:

MSc. Arq. Gaibor Espín Genaro Raymundo

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados SANTOS ALAY KLENNY VALERIA y ZÚÑIGA FORGETT JEFFERSON ABRAHAM declaramos bajo juramento, que la autoría del presente trabajo de investigación, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos nuestros derechos patrimoniales y de titularidad a la UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

Firma:



Santos Alay Klenny Valeria

C.I.:0922593397

Firma:



Zúñiga Forgett Jefferson Abraham

C.I.: 0924344914

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de investigación “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO CON LA INCLUSIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO EXPANDIDO” designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA VIGA DE HORMIGÓN ARMADO CON LA INCLUSIÓN DE ESPUMA DE POLIURETANO EXPANDIDO presentado por los estudiantes SANTOS ALAY KLENNY VALERIA y ZÚÑIGA FORGETT JEFFERSON ABRAHAM como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL encontrándose apto para su sustentación.



Firma:

MSc. Arq. Gaibor Espín Genaro Raymundo

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este trabajo quiero expresar mi gratitud a Dios, por darme la oportunidad, la fortaleza y sabiduría para lograr uno de mis objetivos; además de guiarme y bendecir mi vida en cada paso que doy.

A mis padres que son mi motivación y mis pilares, agradecerles por los valores inculcados y los consejos que me fueron de mucha utilidad en cada tropiezo. Gracias por siempre ofrecer lo mejor para mí, darme la oportunidad de corregir mis errores y aprender de ellos.

Mi Isma y Addie, mi fuerza, mi mayor inspiración, llevo en mi corazón tantas sonrisas, besos y abrazos compartidos, gracias por esos hermosos momentos en los que las dudas y preocupaciones pasaron a segundo plano.

A mi esposo y amigo Anthony, por ser parte de mi vida y ser ese apoyo constante en este proyecto y en nuestro hogar. Valoro cada momento compartido contigo en los que tus palabras me alentaban a no rendirme. Gracias por celebrar este logro conmigo y sobre todo por tu paciencia y amor.

Mi profundo agradecimiento a los docentes, quienes con su enseñanza hicieron que pueda crecer día a día como profesional. A mis compañeros, quienes hicieron de esta etapa una experiencia de buenos recuerdos.

Finalmente quiero expresar mi agradecimiento a mi tutor MSc. Genaro Gaibor, principal colaborador durante todo el proceso, quien con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de este trabajo.

Klenny Santos Alay

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí.

A mi hermano por estar siempre presente, por su apoyo brindado a lo largo de esta etapa de mi vida.

Con amor a mi esposo, a mis hijos, por su apoyo incondicional, porque me acompañan en todos mis sueños y metas, por el amor y felicidad que me brindan día a día.

Klenny Santos Alay

AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento a Dios por permitirme alcanzar este objetivo.

Agradezco a mis padres, por su esfuerzo y por ser quienes me guiaron y enseñaron que con la ayuda de Dios todo es posible.

A mi esposa amada, por ser quien siempre estuvo apoyándome y motivándome a seguir.

Jefferson Zúñiga

DEDICATORIA

Lo dedico a Dios, porque a pesar de que no lo veo; siempre he podido sentir que está a mi lado dándome fuerzas.

A mi madre por ser siempre mi guía, y por tener siempre la palabra justa en cada momento.

A mi esposa, por ser mi motivación; por demostrarme su amor, por tenerme paciencia y sobre todo por apoyarme siempre.

A mi hijo Ibrahim, en algún momento que leas esto; quiero que sepas que todo este esfuerzo es por ti, esto es un logro que debes superar; porque eres mejor que yo.
Te amo mi pequeño.

Jefferson Zúñiga

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES.....	v
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
DEDICATORIA	x
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
CAPÍTULO I	1
DISEÑO DE LA INVESTIGACION.	1
1.1. Tema de investigación	1
1.2. Planteamiento del problema	1
1.3. Formulación del problema.....	2
1.4. Sistematización del problema.....	3
1.5. Objetivos	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
1.6. Justificación.....	4
1.7. Delimitación del problema.....	5
1.8. Hipótesis.....	6
1.9. Línea de Investigación.....	6
CAPITULO II	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Marco teórico.....	7
2.1.1. Antecedentes	7
2.1.2. Marco teórico referencial	9
2.2. Conceptos generales.....	12
2.2.1. El Hormigón.....	12

2.2.1.1.	Elementos que conforman el Hormigón	13
2.2.1.2.	Funciones en el concreto	21
2.2.1.3.	La textura del material	22
2.2.1.4.	Propiedades granulométricas	24
2.2.1.5.	Módulo de Fineza	27
2.2.1.6.	Contenido De Finos	27
2.2.1.7.	Propiedades físicas:.....	28
2.2.1.8.	Propiedades resistentes:.....	30
2.2.2.	Hormigón armado.....	31
2.2.3.	Acero corrugado.....	32
2.2.4.	Características del hormigón armado.....	33
2.2.5.	Espuma de poliuretano expandido.....	34
2.2.6.	Normativa Básica de la Aplicación de la Espuma de Poliuretano.....	40
2.2.7.	Proceso de Medición del Espesor de la Espuma de Poliuretano:.....	41
2.2.8.	Propiedades del Proceso de Aplicación de la Espuma de Poliuretano.....	41
2.3.	Definiciones Generales	42
2.4.	Marco legal	45
2.4.1.	Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).....	45
2.4.2.	Normas Técnicas Ecuatorianas	45
2.4.3.	ACI-318M-11 (Instituto Americano del Concreto).....	48
2.4.4.	Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM).....	48
CAPÍTULO III.....		52
3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	52
3.1.	Metodología.....	52
3.2.	Tipo de investigación.....	53
3.2.1.	Investigación Exploratoria.....	53
3.2.2.	Investigación Descriptiva	53
3.2.3.	Investigación Explicativa	54
3.3.	Enfoque	55
3.4.	Técnicas de la investigación.....	56
3.5.	Población.....	57
3.6.	Muestra.....	58
3.7.	Validez y confiabilidad	59

3.7.1.	Validez.....	59
3.7.2.	Confiabilidad	59
3.8.	Análisis de resultados	59
CAPITULO IV.....		60
4.	PROPUESTA	60
4.1.	Objetivo general de la propuesta.....	60
4.2.	Objetivos específicos de la propuesta.	60
4.3.	Desarrollo experimental.....	60
4.4.	Investigación de campo.	60
4.5.	Diseño patrón de hormigón de $f'c$ 210 Kg/cm ²	61
4.5.1.	Contenido de humedad	61
4.5.2.	Granulometría.....	64
4.5.3.	Peso unitario.	66
4.5.4.	Gravedad específica y absorción.....	68
4.5.5.	Abrasión.	70
4.6.	Diseño de hormigón de $f'c$ 250 Kg/cm ²	72
4.7.	Rotura de cilindros.....	73
4.8.	Rotura a flexión	74
4.9.	Resumen de los ensayos.....	75
5.	CONCLUSIONES.....	76
6.	RECOMENDACIONES.....	78
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Línea de Investigación Institucional/Facultad.....	6
---	---

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. AGREGADO GRUESO.....	22
FIGURA 2. MODULO DE ELASTICIDAD.....	31
FIGURA 3. ACERO CORRUGADO	32
FIGURA 4. PROPIEDADES MEDIOAMBIENTALES.....	39
FIGURA 5. PROPIEDADES MEDIOAMBIENTALES	40
FIGURA 6. CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO.....	62
FIGURA 7. CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO	63
FIGURA 8. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO	64
FIGURA 9. GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO	65
FIGURA 10. PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO	66
FIGURA 11. PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO	67
FIGURA 12. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	68
FIGURA 13. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	69
FIGURA 14. ABRASIÓN AGREGADO GRUESO	70
FIGURA 15. DISEÑO DE HORMIGÓN.....	72
FIGURA 16. CONTROL DE ROTURA.....	73
FIGURA 17. GRÁFICO DE ROTURA A FLEXIÓN.....	74
FIGURA 18. RESUMEN ENSAYO DE HORMIGÓN	75

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACION.

1.1. Tema de investigación

Análisis comparativo del comportamiento mecánico de una viga de hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido.

1.2. Planteamiento del problema

Como es de conocimiento general, la mala situación económica mundial está afectando directamente a todas las clases sociales y hace casi imposible pensar en adquirir una vivienda.

La gran demanda de construcción en el mundo actual, ha llevado a buscar nuevas tecnologías en materiales, que tengan como objetivo, mejorar sus propiedades de trabajo, tiempo y principalmente costos. Alrededor del mundo, la mayoría de las materias primas para construcción, han tenido un fuerte aumento en su valor económico, lo cual ha llevado a la optimización de uso de materiales.

El hormigón es un material de uso estructural para las diferentes obras civiles, una vez fraguado y endurecido cuenta con un peso referencial de 2400 kg/m³, este peso genera un problema en cálculos de cimientos, capacidad portante de suelos por las cargas muertas, generando estructuras de volumen de hormigón un poco alto, el costo de producción del hormigón es elevado por las diferentes actividades realizadas durante su elaboración, en el periodo de vida útil de aproximadamente 50 años presenta problemas de desprendimiento de los agregados gruesos y finos por la pérdida de adherencia, debido a las acciones físicas, químicas, medio ambiente, considerando que el aislamiento térmico y la impermeabilidad del hormigón no es muy bueno.

Entre los problemas del hormigón tenemos un resumen, es muy pesado y voluminoso, las edificaciones con gran altura están asociadas al peso de los elementos que se requieren, ejemplo si las edificaciones tienen luces grandes o volados grandes las vigas y losas tendrían dimensiones grandes esto llevaría a generar mayor costo en la construcción de la edificación. Bajo este punto de vista es el uso de materiales, que se ha convertido en una gran alternativa para la industria de la construcción.

La resistencia del hormigón depende de cómo trabaje el conjunto de materiales que lo componen, se utilizara la espuma de poliuretano expandido para analizar comparativamente el comportamiento mecánico de una viga de hormigón armado con la inclusión de este material.

Al considerar la espuma de poliuretano expandido como parte del diseño de hormigón esto influirá en el peso de la estructura, más liviana y por consiguiente las cargas que transmite al suelo serán menores a un hormigón armado tradicional cuya carga que genera al suelo es de 0.8 a 1 T/m², con esto podremos tener menos asentamientos en una determinada estructura.

La idea fundamental al realizar este análisis es disminuir las cargas de una estructura.

1.3. Formulación del problema

¿De qué manera influye y cuáles son los aprovechamientos de la utilización del poliuretano expandido como agregado en el comportamiento mecánico de una viga fabricada con hormigón armado?

1.4. Sistematización del problema

- ¿Cuáles son las características y usos del poliuretano expandido en el ámbito de la construcción?
- ¿Cuál es la dosificación de los materiales que cumpla con los estándares de calidad, para la elaboración de una viga de hormigón con poliuretano expandido?
- ¿Cuál es el comportamiento que se espera obtener de este material al relacionarse con el hormigón?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Analizar comparativamente el comportamiento mecánico del hormigón con la inclusión de espuma de poliuretano expandido como agregado, para que sea considerada en la fabricación de una viga de hormigón armado.

1.5.2. Objetivos específicos

Describir las propiedades del poliuretano expandido en trabajos previos.

Determinar la dosificación de los materiales que cumpla con los estándares de calidad para la elaboración de una viga de hormigón utilizando poliuretano expandido.

Determinar los índices de densidad y rotura a compresión del hormigón con espuma de poliuretano expandido como agregado.

1.6. Justificación

Para este proyecto se propone la inclusión del poliuretano expandido en las vigas de hormigón armado con la finalidad de abaratar costos y que todas las personas tengan la oportunidad de adquirir una vivienda digna y segura, tanto física como técnicamente.

Como futuros ingenieros civiles queremos proponer una solución viable que permita realizar una construcción segura, pero a la vez económica. Además, experimentar si la inclusión del poliuretano expandido en las vigas de hormigón armado es una alternativa eficaz para realizar construcciones livianas con la misma capacidad portante que una construcción convencional.

Desde el punto de vista metodológico este trabajo de investigación se justifica debido a que se aplicarán importantes técnicas experimentales de ingeniería como son los ensayos de resistencia a la compresión y flexión, para analizar los resultados obtenidos de las muestras de hormigón con espuma de poliuretano por medio de cilindros y vigas que permitirán obtener los datos deseados, dentro de la rigurosidad científica.

Con la inclusión de la espuma de poliuretano expandido, se busca realizar un aporte económico a las construcciones; debido a que este material reemplazará un porcentaje del volumen de hormigón en las vigas, se espera que, al ser de menor costo en comparación con los agregados del hormigón, abaratará el costo final de una obra.

Esta ventaja económica permitirá que las personas de bajos recursos tengan mayor facilidad de adquirir una vivienda con las mismas características técnicas de una construida con vigas de hormigón armado, pero a menor costo.

Académicamente la inclusión de espuma de poliuretano expandido en vigas de hormigón armado permitirá realizar estudios y experimentos para determinar si es viable técnica y económicamente la adición de este material; y así darle soporte a esta investigación y a futuras investigaciones en esta temática.

Se espera que la inclusión de este material en una viga de hormigón armado reduzca considerablemente el peso de ésta (baja densidad).

Los beneficios serán edificaciones con cargas menores a la tradicional. el costo beneficio se lo analizara de acuerdo a los resultados de laboratorio, considerando la durabilidad de las estructuras de las edificaciones, la cual debería mejorar con el uso del poliuretano expandido.

Los beneficiarios serán los constructores, propietarios de los bienes al obtener, edificaciones de mayor durabilidad.

La importancia de esta investigación es la indagación planificada que persigue descubrir nuevos materiales de acuerdo al concepto de investigación, desarrollo e innovación en el Ecuador, el cual involucra la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos para desarrollar nuevos proyectos innovadores y sobre todo ecológicos, coadyuvando al desarrollo sustentable al cual está comprometido este país, lo cual justifica desde el punto ambiental esta investigación.

1.7. Delimitación del problema

Campo: Educación Superior. Tercer nivel de grado

Área: Ingeniería Civil

Aspecto: Investigación experimental

Tema: Análisis comparativo del comportamiento mecánico de una viga de hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido.

Delimitación Espacial: Guayaquil

Delimitación Temporal: 6 meses.

1.8. Hipótesis

Con la utilización del poliuretano expandido como agregado en la viga de hormigón armado, se espera reducir en el peso de la estructura, además, de mejorar las propiedades mecánicas de resistencia y durabilidad del hormigón, y disminuir costos en su fabricación.

1.9 Línea de Investigación

Tabla 1
Línea de Investigación Institucional/Facultad

Dominio	Línea de investigación institucional	Sub línea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Materiales innovadores de construcción

Fuente: (ULVR, 2020)

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico

2.1.1. Antecedentes

El concreto se usó por primera vez en Roma alrededor del siglo III a. C. Consistía en agregados conectados por un aglutinante que consistía en una mezcla de cal y cenizas volcánicas. Este material podría sumergirse en agua, conservando sus propiedades a diferencia de los morteros de cal utilizados en la antigua isla de Creta hace siglos.

En 1801, F. Coig net publicó su tratado sobre los principios de construcción y reconoció la debilidad del material de tensión. En 1824, Joseph Aspdin hizo cemento al mezclar arcilla y piedra caliza de varias canteras y calentarlo en un horno. (Cutimbo.Wilber, 2016)

Los resultados obtenidos para la mezcla de este concreto con este aglutinante se le dio el nombre de cemento Portland como referencia de las piedras que se encontraron en dicha isla al sur de Inglaterra.

El hormigón armado se empezó a utilizar durante el siglo XIX en estructuras tales como arcos y edificaciones.

Mientras que en el año 1855, W. B. Wilkinson registró la elaboración de un piso de concreto.

Un año después, Francois Coignet diseño un sistema de refuerzo de piso que consiste en barras de acero incrustadas en concreto y lo patentó. En 1867, Joseph

Monier, un jardinero francés, hizo macetas de hormigón con refuerzo de malla de alambre, patentando así, esta técnica para la construcción de tanques, puentes, tuberías, vigas, columnas y escaleras. Considerándolo como el creador del concreto reforzado. (Cutimbo.Wilber, 2016)

En los Estados Unidos, el abogado e ingeniero Thaddeus Hyatt realizó experimentos en 1850 con vigas de hormigón armado. Los resultados se publicaron hasta 1877. Examinó la resistencia al fuego del hormigón y concluyó que los coeficientes de expansión térmica eran correctos. Tanto el hormigón como el acero eran muy similares. Los estudios de Hyatt establecieron los principios por los cuales se desarrolla el análisis y diseño de elementos de hormigón armado. (Cutimbo.Wilber, 2016)

Francois Hennebique fue finalmente quien hizo un estudio de ingeniería e impulso diversas estructuras con aquel novedoso material. Para el año 1900, el Ministerio de Obras Públicas de Francia propuso un comité para la elaboración de especificaciones técnicas como referencia para el hormigón armado nombró un comité para elaborar especificaciones técnicas para el hormigón armados, y de aquí a su vez dio inicio al Comité Alemán de Concreto Reforzado, el Comité Austriaco de Concreto, el Instituto Americano de Concreto y el Instituto Británico de Concreto.

Sin duda alguna, el hormigón se ha convertido en un gran aliado de la construcción, gracias a su versatilidad y eficacia, en la actualidad se siguen realizando estudios e investigaciones de su comportamiento con innovadores materiales.

2.1.2. Marco teórico referencial

Para el proyecto de titulación se ha creado un marco de referencia con trabajos de autores en los temas de interés para nuestra investigación, la información recopila algunos de los conocimientos técnicos. Las fuentes de consulta de los proyectos de investigación que hemos empleado nos han ayudado para determinar conceptos técnicos y metodologías, estas recopilaciones la obtuvimos por medios de la herramienta informática del internet.

Con respecto al tema de nuestro proyecto de titulación “Análisis comparativo del comportamiento mecánico de una viga de hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido” se evidenciaron las siguientes investigaciones.

Universidad: Universidad Central del Ecuador Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática carrera de Ingeniería Civil

Tema: Análisis comparativo entre hormigón convencional y hormigón de baja densidad para emplearlo en estructuras.

Autor: Milton Rolando Angamarca Tene; Rubén Alejandro Cáceres Chico

Fecha: Quito, Ecuador junio 2015

Resumen:

La investigación intenta demostrar que se puede lograr una disminución en la densidad del hormigón sin afectar la calidad de este, mediante la incorporación del agregado liviano, en este caso la piedra pómez, el uso de este innovador material da

los siguientes resultados: la consistencia del hormigón disminuye pero se podría usar un aditivo plastificante, la densidad del hormigón se logró reducir un 14% respecto al hormigón convencional y la resistencia muestra resultados que cumple los lineamientos del ACI.

Aportando a esta investigación fundamentalmente aspectos teóricos y metodológicos en la parte técnica donde se compara las propiedades del hormigón tradicional con hormigón de baja densidad por medio de ensayos de laboratorio demostrando que existen materiales alternativos que pueden bajar la densidad del hormigón sin que pierda la característica mecánica, considerando que puede bajar los costos de producción.

Universidad: Universidad de Cuenca Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil

Tema: Influencia de las perlas de poliestireno expandido (eps) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón.

Autor: Mónica Cristina Lituma Vicuña Brigida Tatiana Zhunio Cárdenas

Fecha: Cuenca – Ecuador octubre 2015

Resumen:

Su aporte a esta investigación fundamentalmente son los aspectos teóricos y metodológicos en la parte técnica donde se considera la influencia del reemplazo de agregados por otros materiales al hormigón tradicional para analizar su peso y

resistencia a partir del diseño de peso original, modificándolo con diferentes cantidades de material hasta llegar a la resistencia requerida.

Universidad: Pontificia Universidad Católica del Ecuador Facultad de Ingeniería
Escuela Civil

Tema: “Análisis comparativo de las propiedades físico-mecánico de un hormigón alivianado con poliestireno expandido con relación a un hormigón de peso normal”

Autor: Villarreal García Gustavo Adolfo, Toro Tipan Edwin Alexander

Fecha: Ecuador 2019

Su aporte en la parte técnica donde se presenta un material para ser mezclado en el hormigón, las perlas de poliestireno expandido se evalúan las propiedades del hormigón la densidad, resistencia a la compresión, tracción y módulo de elasticidad, considerando que dichas propiedades son las más necesarias al momento de diseñar o construir obras civiles.

Universidad: Universidad Andina del Cusco Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Tema: “Análisis comparativo del módulo de elasticidad a compresión y peso volumétrico de concretos convencionales y concretos ligeros fabricados con perlas de poliestireno expandido (PPE)”.

Autor: Ferdinan M. Saavedra Argandoña; Fernando Ccorimanya Sota

Fecha: CUSCO – PERÚ 2019

Resumen:

(Saavedra & Coorimanya, 2019), su aporte en los aspectos teóricos y metodológicos en la parte técnica donde se considera la influencia del reemplazo de agregados por otros materiales al hormigón tradicional para analizar su peso y resistencia a partir del diseño de peso original, modificándolo con diferentes cantidades de material hasta llegar a la resistencia requerida.

2.2. Conceptos generales

2.2.1. El Hormigón

El hormigón es uno de los materiales de construcción por excelencia. El hormigón es un material de construcción formado por una mezcla de cemento, arena, agua y grava o piedra machacada. además, el hormigón puede llevar algún tipo de aditivo para mejorar sus características dependiendo del uso que se le vaya a dar a la mezcla.

Es un material muy moldeable ya que al amasarse con agua tenemos un compuesto semifluido que es capaz de moldearse a la perfección. Que se puede aplicar muy fácilmente por esta característica semifluida para rellenar huecos, cimientos, estructuras.

Y por otro lado gran característica del hormigón es que tienes unas propiedades adherentes muy buenas tanto para adherirse a material de obra. (jose, 2018)

Como después aplicar otros materiales que se adherirán posteriormente al hormigón ya fraguado en los procesos de construcción que se vayan a llevar a cabo. Y por último otra de las características que ha hecho que el hormigón se utilice mundialmente es que pasadas unas horas empieza a fraguar y adquiere una dureza similar a la de las piedras. De ahí que tenga esas propiedades tan buenas para soportar la presión y aguantar peso encima. Un ejemplo de esto que entenderemos fácilmente es cuando hablamos de los pilares de edificios que se hacen con hormigón y que soportan el peso de las plantas superiores. Por estas magníficas propiedades de soporte de la presión. (jose, 2018)

2.2.1.1. Elementos que conforman el Hormigón

2.2.1.1.1. El Cemento.

Cemento puede ser definido como un polvo fino aglutinante con propiedades aglomerantes o ligantes que endurece al contacto con el agua. Con la adicción de agua, se convierte en una pasta homogénea capaz de endurecer y conservar su estructura, incluso a pesar de un nuevo contacto con el agua. Dentro de los cementos, el más común es el denominado cemento Portland, el cual puede ser definido como un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker y compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adicción durante la molienda. (CANDO, 2015)

Identificaremos 5 categorías diferentes de cemento Portland cada una con sus características físicas y químicas específicas.

Tipo I

El cemento normal, el que todos conocemos, usado en la construcción de obras de hormigón en general, viviendas, estructuras, etc. Se utiliza cuando las especificaciones de construcción no indican el uso de otro tipo de cemento. Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento.

Tipo II

Tiene una resistencia media a los ataques de sulfatos y se utiliza en obras de construcción en general y en construcciones expuestas a la acción moderada de los sulfatos o que requieren un calor de hidratación moderado, cuando así este consignado en las especificaciones de construcción. Para lograr estas características se regulan la cantidad máxima de silicato tricálcico y aluminato tricálcico. Por lo general es el cemento utilizado en la realización de tuberías de hormigón y puentes.

Tipo III

Este desarrolla una alta resistencia en un tiempo menor, en 7 días tiene la misma resistencia que un concreto tipo I o II en 28 días. Para lograr este rápido fraguado se aumentan las cantidades de silicato tricálcico y aluminato tricálcico. Este cemento desprende grandes cantidades de calor por lo que no es recomendable para chorreas masivas. Se utiliza por ejemplo para la construcción de elementos prefabricados o construcciones de emergencia.

Tipo IV

Es un cemento de secado lento por lo que no genera gran cantidad de calor de hidratación siendo ideal para chorreas masivas que no requieran una alta resistencia

inicial. Para lograr esto se regulan las cantidades de silicato tricálcico y aluminato tricálcico. Es utilizado en estructuras de hormigón muy grandes, como los diques.

Tipo V

Este cemento se usa en la construcción de elementos y obras que necesiten una resistencia elevada al ataque concentrado de sulfatos y álcalis. Para lograr esto se reduce la cantidad de aluminato tricálcico ya que este es el componente más vulnerable a los sulfatos. Se utiliza por ejemplo en la construcción de alcantarillas, canales de conducción e infraestructuras portuarias.

2.2.1.1.2. Los Agregados.

Generalmente se entiende por "agregado" a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable. El concreto es un material compuesto básicamente por agregados y pasta cementicia, elementos de comportamientos bien diferenciados. Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011.

Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto. (AVILA, 2015)

Los agregados son materiales inorgánicos naturales o artificiales que están embebidos en los aglomerados (cemento, cal y con el agua forman los concretos y morteros). Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de

partícula que pueden llegar hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm. (AVILA, 2015)

Los agregados conforman el esqueleto granular del concreto y son el elemento mayoritario ya que representan el 80-90% del peso total de concreto, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones. La pasta cementicia (mezcla de cemento y agua) es el material activo dentro de la masa de concreto y como tal es en gran medida responsable de la resistencia, variaciones volumétricas y durabilidad del concreto. Es la matriz que une los elementos del esqueleto granular entre sí. Cada elemento tiene su rol dentro de la masa de concreto y su proporción en la mezcla es clave para lograr las propiedades deseadas, esto es: trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía. (AVILA, 2015).

Existen varias formas de clasificar a los agregados, las cuales son:

Por su naturaleza:

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón (agregado global). (AVILA, 2015)

a. El agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.

b. El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

c. El hormigón, es el material conformado por una mezcla de arena y grava este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera.

Por su densidad:

Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75. (AVILA, 2015)

Por el origen, forma y textura superficial:

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angularidades. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser: (AVILA, 2015)

Angular: Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.

Sub angular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.

Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.

Redondeada: Bordes casi eliminados.

Muy Redondeada: Sin caras ni bordes

Por el tamaño del agregado: Según su tamaño, los agregados para concreto son clasificados en:

Agregados finos (arenas) y

Agregados gruesos (piedras)

2.2.1.1.3. Áridos y Arenas:

El tamiz que separa un agregado grueso de uno fino es el de 4,75 mm. Es decir, todo agregado menor a 4,75 mm es un agregado fino (arena). (AVILA, 2015)

La arena o árido fino es el material que resulta de la desintegración natural de las rocas o se obtiene de la trituración de las mismas, y cuyo tamaño es inferior a los 5mm.

Para su uso se clasifican las arenas por su tamaño. A tal fin se les hace pasar por unos tamices que van reteniendo los granos más gruesos y dejan pasar los más finos. (AVILA, 2015)

Arena fina: es la que sus granos pasan por un tamiz de mallas de 1mm de diámetro y son retenidos por otro de 0.25mm.

Arena media: es aquella cuyos granos pasan por un tamiz de 2.5mm de diámetro y son retenidos por otro de 1mm.

Arena gruesa: es la que sus granos pasan por un tamiz de 5mm de diámetro y son retenidos por otro de 2.5mm.

Las arenas de granos gruesos dan, por lo general, morteros más resistentes que las finas, si bien tienen el inconveniente de necesitar mucha pasta de conglomerante para rellenar sus huecos y será adherente. En contra partida, el mortero sea plástico, resultando éste muy poroso y poco adherente. El hormigón es un material formado por cemento, áridos de diferentes granulometrías, agua y aditivos que, mezclado en diferentes proporciones, permite obtener el hormigón que es distribuido en camiones hormigoneras. (AVILA, 2015)

Es un material vivo, no almacenable, ya que su tiempo de uso se limita a 90 minutos; a partir de los cuales el hormigón pierde sus propiedades. Las características especiales de este material obligan a fabricar bajo pedido, adecuando la producción a la situación geográfica, al horario y ritmo de cada obra, debiendo optimizar los recursos para ofrecer no sólo un producto de calidad sino un buen servicio al cliente. (AVILA, 2015)

Cualquiera sea el tipo de material utilizado, sus partículas deben ser duras y resistentes, ya que el concreto, como cualquier otro material se romperá por su elemento más débil. Si el agregado es de mala calidad sus partículas se romperán antes que la pasta cementicia, o el mortero. (AVILA, 2015)

Un agregado fino con partículas de forma redondeada y textura suave ha demostrado que requiere menos agua de mezclado, y por lo tanto es preferible en los HAD. Se acepta habitualmente, que el agregado fino causa un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso. - Los primeros tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los

agregados, el requerimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan éstos. (AVILA, 2015)

Una óptima granulometría del árido fino es determinante por su requerimiento de agua en los HAD, más que por el acomodamiento físico. La experiencia indica que las arenas con un módulo de finura (MF) inferior a 2.5 dan hormigones con consistencia pegajosa, haciéndolo difícil de compactar. Arenas con un módulo de finura de 3.0 han dado los mejores resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencia a la compresión. (AVILA, 2015)

2.2.1.1.4. Agregado grueso

Numerosos estudios han demostrado que para una resistencia a la compresión alta con un elevado contenido de cemento y baja relación agua-cemento el tamaño máximo de agregado debe mantenerse en el mínimo posible (12,7 a 9,5). En principio el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas. Se ha encontrado que la adherencia a una partícula de 76 mm. es apenas un 10% de la correspondiente a una de 12,5 mm., y que excepto para agregados extremadamente buenos o malos, la adherencia es aproximadamente entre el 50 a 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días. (AVILA, 2015)

Las fuerzas de vínculo dependen de la forma y textura superficial del agregado grueso, de la reacción química entre los componentes de la pasta de cemento y los agregados.

Otro aspecto que tiene que ver con el tamaño máximo del agregado es el hecho de que existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en una partícula de mayor tamaño provocadas por los procesos de explotación de las canteras (dinamitado) y debido a la reducción de tamaño (trituration), lo cual lo convertirá en un material indeseable para su utilización en concreto. También se considera que la alta resistencia producida por agregados de menor tamaño se debe a una baja en la concentración de esfuerzos alrededor de las partículas, la cual es causada por la diferencia de los módulos elásticos de la pasta y el agregado (AVILA, 2015)

Se ha demostrado que la grava triturada produce resistencias mayores que la redondeada. - Esto se debe a la trabazón mecánica que se desarrolla en las partículas angulosas. Sin embargo, se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva. El agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, triturado 100%, con un mínimo de partículas planas y elongadas. (AVILA, 2015)

2.2.1.2. Funciones en el concreto

a. Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.

b. Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.

c. Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

Los agregados finos son comúnmente identificados por un número denominado Módulo de finura, que en general es más pequeño a medida que el agregado es más fino. La función de los agregados en el concreto es la de crear un esqueleto rígido y estable lo que se logra uniéndolos con cemento y agua (pasta). Cuando el concreto está fresco, la pasta también lubrica las partículas de agregado otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla. (AVILA, 2015)

Para cumplir satisfactoriamente con estas funciones la pasta debe cubrir totalmente la superficie de los agregados Si se fractura una piedra, como se observa en la figura, se reducirá su tamaño y aparecerán nuevas superficies sin haberse modificado el peso total de piedra. Por la misma razón, los agregados de menor tamaño tienen una mayor superficie para lubricar y demandarán mayor cantidad de pasta. En consecuencia, para elaborar concreto es recomendable utilizar el mayor tamaño de agregado compatible con las características de la estructura. (AVILA, 2015)

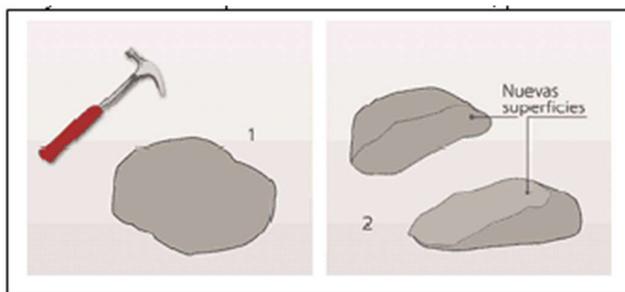


Figura 1. agregado grueso.
Fuentes: (AVILA, 2015)

2.2.1.3. La textura del material

Dice que tan lisa o rugosa es la superficie del material es una característica ligada a la absorción pues agregados muy rugosos tienen mayor absorción que los lisos además que producen concretos menos plásticos.

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm. Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de grava o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5mm y generalmente entre 9.5 mm y 38mm. Algunos depósitos naturales de agregado, a veces llamados gravas de mina, río, lago o lecho marino. El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se utiliza como agregado grueso o fino. (AVILA, 2015)

El esqueleto granular está formado por los agregados que son elementos inertes, generalmente más resistentes que la pasta cementicia y además económicos. Por lo tanto, conviene colocar la mayor cantidad posible de agregados para lograr un concreto resistente, que no presente grandes variaciones dimensionales y sea económico. Pero hay un límite en el contenido de agregados gruesos dado por la trabajabilidad del concreto. Si la cantidad de agregados gruesos es excesiva la mezcla se volverá difícil de trabajar y habrá una tendencia de los agregados gruesos a separarse del mortero (segregación). Llegado este caso se suele decir que el concreto es "áspero", "pedregoso" y "poco dócil". (AVILA, 2015)

En el concreto fresco, es decir recién elaborado y hasta que comience su fraguado, la pasta cementicia tiene la función de lubricar las partículas del agregado, permitiendo la movilidad de la mezcla. En este aspecto también colabora el agregado fino (arena). La arena debe estar presente en una cantidad mínima que permita una buena trabajabilidad y brinde cohesión a la mezcla. Pero no debe estar en exceso porque perjudicará las resistencias. Se debe optimizar la proporción de cada material de forma tal que se logren las propiedades deseadas al mismo costo. (AVILA, 2015)

El concreto reciclado, o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad. Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril optimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia la pasta del cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades apreciables de esquistos o de otras rocas esquistas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán evitarse en especial, puesto que tiene baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie tales como erupciones. (AVILA, 2015)

2.2.1.4. Propiedades granulométricas

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta 9.52 mm. (AVILA,

2015)

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la ASTM C 33, más otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula. (AVILA, 2015)

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción. (AVILA, 2015)

Granulometría de los agregados finos:

Depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y el tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua – cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. (AVILA, 2015)

Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía. Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30mm (No. 50) y de 15mm (No. 100) sean reducidos a 15% y 0%, respectivamente, siempre y cuando

1): El agregado que se emplee en un concreto que contenga más de 296 Kg de cemento por metro cubico cuando el concreto no tenga inclusión de aire.

2): Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, el agregado fino se deberá rechazar a menos de que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones el agregado fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (No. 50) y de 1.15 mm (No. 100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial, y el sangrado del concreto.

El módulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100. El módulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el modo de finura, más grueso será el agregado. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

Granulometría de los agregados gruesos:

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores, para revenimiento de aproximadamente 7.5 cm para un amplio rango de tamaños de agregado grueso. (AVILA, 2015)

El número de tamaño de la granulometría (o tamaño de la granulometría). El número de tamaño se aplica a la cantidad colectiva de agregado que pasa a través de un arreglo mallas.

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del del agregado dependiendo del número de tamaño. Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. De noventa a cien por ciento de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm. (AVILA, 2015)

Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

- 1): Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
- 2): Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- 3): Un tercio del peralte de las losas.

2.2.1.5. Módulo de Fineza

Criterio Establecido en 1925 por Duff Abrams a partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material utilizando. (AVILA, 2015).

2.2.1.6. Contenido De Finos

El contenido de finos o polvo no se refiere al contenido de arena fina ni a la cantidad de piedras de tamaño menor, sino a la suciedad que presentan los agregados (tamaños inferiores a 0,075 mm). (AVILA, 2015)

El contenido de finos es importante por dos aspectos:

a mayor suciedad habrá mayor demanda de agua, ya que aumenta la superficie.

a mojar y por lo tanto también aumentará el contenido de cemento si se quiere mantener constante la relación agua/cemento;

si el polvo está finamente adherido a los agregados, impide una buena unión con la pasta y por lo tanto la interfase mortero-agregado será una zona débil por donde se puede originar la rotura del concreto.

Es difícil de apreciar a simple vista si las arenas tienen finos, pero se puede evaluar cualitativamente de las siguientes maneras: (AVILA, 2015)

Observando los acopios, pueden notarse en su superficie costras duras originadas por el desecamiento de estos finos.

Haciendo una simple prueba consiste en colocar un poco de arena en un recipiente traslúcido con agua, agitar enérgicamente y dejar reposar un par de minutos. Si la arena está sucia se diferenciará claramente en el fondo del recipiente el depósito de arena y sobre éste, el de material fino.

2.2.1.7. Propiedades físicas:

Densidad

Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso

unitario. Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción. (AVILA, 2015)

Porosidad

La palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad. (AVILA, 2015)

Peso Unitario

Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos. el procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C 29 y NTP 400.017. Es un valor útil sobre todo para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa. (AVILA, 2015)

Porcentaje de Vacíos

Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la expresión recomendada por ASTM C 29. (AVILA, 2015).

$$\% \text{ vacios} = \frac{(S*W - P.U.C.)}{S*W} * 100$$

Donde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

P.U.C. = Peso Unitario Compactado seco del agregado

Humedad

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma: (AVILA, 2015)

$$\% \textit{humedad} = \frac{\textit{Peso natural} - \textit{Peso seco}}{\textit{Peso seco}} * 100$$

2.2.1.8. Propiedades resistentes:

Resistencia

La resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; la textura la estructura y composición de las partículas del agregado influyen sobre la resistencia. Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante. (AVILA, 2015).

Tenacidad

Esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. Está directamente relacionada con la flexión, angularidad y textura del material (AVILA, 2015).

Dureza

Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes. Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarcita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silíceas. (AVILA, 2015).

Módulo de elasticidad

Es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones.

El módulo elástico se determina en muy inusual su determinación en los agregados sin embargo el concreto experimentara deformaciones por lo que es razonable intuir que los agregados también deben tener elasticidades acordes al tipo de concreto. El valor del módulo de elasticidad además influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que puedan presentarse. (AVILA, 2015)

Tipo de agregado	Módulo Elástico
GRANITOS	610000 kg/ cm ²
ARENISCAS	310000 kg/ cm ²
CALIZAS	280000 kg/ cm ²
DIABASAS	860000 kg/ cm ²
GABRO	860000 kg/ cm ²

Figura 2. Modulo de elasticidad...

Fuentes: (AVILA, 2015)

2.2.2. Hormigón armado.

El hormigón armado está formado por la unión del hormigón y el acero en armadura. Para colocar estas armaduras se debe estudiar la ubicación de la zona, es decir, el lugar donde flexionarán las vigas, columnas, voladizos o demás componentes.

Los materiales que componen este tipo de estructuras son el hormigón y la armadura de acero. El hormigón es el material más importante que se utiliza para formar las estructuras de concreto armado. (rey, 2017).

2.2.3. Acero corrugado.

Se conoce como ductilidad a la propiedad de los materiales que sometidos a una fuerza pueden deformarse sin llegar a romperse. Y esta es la propiedad que aporta el añadir acero al hormigón que hace que sea un material más dúctil y por lo tanto pueda doblarse antes de quebrar o fracturarse. Siendo esta una característica muy importante en construcción.

Debido a que por un lado gran parte de las construcciones se hacen sobre terreno de tierra donde no todo el terreno está formado por los mismos materiales. Y ante peso encima como puede ser cuando construimos una casa o un edificio de viviendas el terreno de abajo se comprime no homogéneamente. Esto hará si no tienen unos buenos cimientos que el edificio soporte tensiones que si no se han utilizado materiales de construcción con la suficiente ductilidad o capacidad de flexión acabarán quebrándose y cayendo el edificio o la construcción realizada. (jose, 2018)



Figura 3. Acero corrugado
Fuentes (jose, 2018)

2.2.4. Características del hormigón armado.

A continuación, veremos las características de este material de construcción que ha hecho que sea tan valorado en las reformas de albañilería y utilizado en todo el mundo. (jose, 2018)

Los materiales que se utilizan en su composición son fácilmente asequibles en cualquier lugar del mundo y no tienen precios elevados por su uso es tan generalizado a nivel mundial.

Es un material de construcción que apenas requiere mantenimiento y cuya durabilidad es muy elevada.

Siendo quizá el hecho de que dura gran cantidad de años unas de las mejores características del hormigón armado.

El concreto reforzado tiene la capacidad de poder moldearse a voluntad pudiendo ajustarse a cualquiera de las necesidades arquitectónicas.

Salvo que optemos para la versión aligerada de concreto reforzado tiene un gran peso y volumen.

Buenas características antisísmicas lo que ha hecho que su uso sea habitual en estructuras y cimientos de edificios.

Gran resistencia a la presión y a la tracción las fuerzas más habituales que han de soportar construcciones de edificios.

2.2.5. Espuma de poliuretano expandido.

La espuma de Poliuretano es un material sintético y duro plástico, altamente reticulado, que se obtiene de la mezcla de dos componentes generados mediante procesos químicos a partir del: El Isocianato y el Polioli. Hay dos maneras de obtenerlo: proyectando al mismo tiempo los dos componentes en una superficie, o por colada (mezcla de ambos materiales). Esta estructura sólida, uniforme y resistente posee una fórmula molecular indicada para su uso como aislante, gracias a las características ya mencionadas, así como a su rápida aplicación, capacidad aislante y a su capacidad para eliminar los puentes térmicos. La Espuma de Poliuretano también se usa habitualmente en impermeabilización. (Torres, 2020).

2.2.5.1. Ventajas de la espuma de poliuretano expandido

Proporciona una excelente aislación térmica.

Bajo nivel de absorción de agua.

Resistencia al envejecimiento, avalan la alta durabilidad

Además, es un material ideal que se adecua a las distintas necesidades de propuestas

Total, adherencia a todo tipo de superficie, sin necesidad de pegamentos, ni sujetadores.

Reduce y economiza considerablemente el uso de energía (frío, calor)

Prolonga la vida útil de las estructuras tratadas.

Es el producto de mayor poder aislante que se conoce.

De máxima adherencia a la superficie tratada, cualquiera sea su forma o posición.

Confiere rigidez estructural.

Controla las dilataciones en estructuras de hormigón.

Actúa como amortiguador de vibraciones.

Ahorro de energía empleada en refrigeración o calefacción.

Duración indefinida. Existen aplicaciones de más de 30 años que no presentan insuficiencia en el producto.

Excelente adherencia a los materiales normalmente utilizados en la construcción, se adhiere a cualquier sustrato (papel embreado asfáltico, hormigón, revoque, fibrocemento, madera, aglomerado de viruta, chapa de acero). No requiere de sistema de sujeción mecánicos ni adhesivos especiales.

Impide el crecimiento de hongos y bacterias

2.2.5.2. Propiedades físicas del poliuretano expandido

Alta Capacidad de carga.

Flexibilidad.

Resistencia a la abrasión y al impacto.

Resistencia al agua, grasa y gasolina.

Facilidades de producción.

Resistencia al moho y a los hongos.

Resistencia a condiciones hostiles.

2.2.5.3. Densidad del poliuretano expandido

La densidad de la espuma rígida de poliuretano para aislamiento térmico está comprendida, según la aplicación, entre 30 y 100 kg/m³, pudiéndose realizar para casos especiales densidades superiores.

2.2.5.4. Resistencia mecánica del poliuretano expandido

La resistencia mecánica de las espumas de poliestireno expandido puede variar entre 0,4 y 1,1 kg/cm². Hay disponibles varias calidades de espumas, con una densidad comprendida entre 10 y 33 kg/m³ y una conductividad térmica que disminuye a medida que aumenta la densidad.

2.2.5.5. Aplicaciones como material de construcción

La espuma de poliuretano (EDP) se aplica en techos y paredes para eliminar la transmisión de calor o frío (puente térmico). Adicionalmente la EDP fortalece la estructura, extendiendo de 10 a 15 años el tiempo de vida de techos y paredes.

2.2.5.6. Propiedades Térmicas de la Espuma de Poliuretano.

La espuma de Poliuretano tiene una elevada capacidad aislante debido a la baja conductividad térmica que posee el gas espumante de su estructura cerradas, que puede situarse en $10\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,022\text{ W/m}\cdot\text{K}$, según la Norma UNE 92202, aunque este valor se eleva ligeramente con el paso del tiempo, hasta estabilizarse definitivamente. Después de 9 meses de envejecimiento, se considera que el valor es $10\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,028\text{ W/m}\cdot\text{K}$, de acuerdo con UNE 92120-1, lo que supone un 25% de mejora con respecto a la media de los demás productos utilizados en aislamiento térmico, por ejemplo, las lanas

minerales, las espumas de Poliestireno extruido y expandido. La espuma de Poliuretano presenta una gran resistencia frente a los efectos del paso del tiempo y tiene una larga vida útil, manteniéndose sin deteriorarse durante más de 50 años. (Torres, 2020)

La espuma de Poliuretano Rígida obtenida por proyección es el material aislante más eficiente, ya que requiere un mínimo espesor para aislar lo mismo que cualquier otro material. Esto supone además un beneficio económico puesto que, para un mismo grado de aislamiento, la Espuma de Poliuretano necesita un menor espesor, lo que implica una mayor superficie habitable. (Torres, 2020).

2.2.5.7. Propiedades Frente al Agua de la Espuma de Poliuretano.

El riesgo de la presencia inadecuada de agua en el interior de los edificios y en sus cerramientos, y por ello exige ciertos grados de impermeabilidad a las fachadas. Los revestimientos continuos intermedios como la Espuma de Poliuretano, son una de las mejores alternativas para cumplir con estos requisitos de impermeabilidad. Por ello exige ciertos grados de impermeabilidad a las fachadas. Esta circunstancia también supone otro beneficio económico, tanto por el ahorro en mortero para el aplanado como por la superficie que se gana al no ser necesario éste. Estar clasificado como revestimiento continuo intermedio también significa una ausencia de patologías en los muros bajo condiciones extremas. (Torres, 2020)

Los valores de la Espuma de Poliuretano en lo que a humedad se refiere garantizan, en la mayoría de los casos y en función de la densidad, la ausencia de condensaciones, haciendo posible la transpiración del cerramiento, lo cual es el efecto más beneficioso para prevenir toda clase de patologías (de higiene, salubridad, confort...). Y también

para mantener durante mucho tiempo las características de la solución constructiva. La espuma de Poliuretano, a diferencia de otros productos utilizados, reúne dos características muy importantes para un material utilizado en aislamiento: es impermeable y permite la transpiración, en cualquier clima y sin necesidad de una barrera de vapor. (Torres, 2020).

2.2.5.8. Propiedades Frente al Fuego de la Espuma de Poliuretano

La Espuma de Poliuretano es un material orgánico, y por tanto combustible, y numerosos estudios han demostrado su buen comportamiento al fuego en aplicación final de uso. En una obra finalizada, el material aislante no queda a la vista, sino detrás de superficies tales como muros, paredes, suelos y techos. Por tanto, lo adecuado del uso de la Espuma de Poliuretano dependerá en gran medida de los valores de resistencia al fuego de los materiales que compongan dichas superficies, además del lugar donde vaya a ser proyectado. (Torres, 2020)

Comportamiento en Caso de Incendio. Los paneles sándwich de poliuretano no contribuyen a mantener vivo el incendio. Sólo sufren daños en la zona inmediata de los efectos de una carga de incendio externa y se distinguen después de haberse extinguido el incendio. Los paneles no contribuyen a la propagación del fuego; las chapas de acero exteriores impiden que ocurra esto en la superficie superior. Puesto que no existen capas internas de aire, queda excluido un posible efecto de chimenea, como es el transporte de productos de descomposición (gases calientes que pueden propagar el fuego) cosa que no es el caso de otros materiales aislantes en construcciones de doble chapa. (Torres, 2020)

La espuma de poliuretano rígida, sintética y duradera no se funde ni gotea. Por lo tanto, no existe el peligro de que se inicien incendios secundarios. La contribución al incendio es extremadamente baja dada su baja densidad y por lo tanto su baja carga de fuego. La apertura de la junta en la zona del incendio produce un evidente alivio térmico de la estructura que soporta carga. Esto tiene un efecto positivo sobre su estabilidad y permite la intervención de los servicios de extinción. La toxicidad de los gases desprendidos es inferior a la de los materiales de construcción habituales. Por esta razón, no existe un peligro agudo para las personas. Los gases desprendidos serán evacuados hacia el exterior junto con los correspondientes al contenido que se quema del edificio. (Torres, 2020).

2.2.5.9. Propiedades Medioambientales de la Espuma de Poliuretano.

Paredes y techos (interior)				Suelos Cubiertas fachadas y medianeras		
	Espuma de poliuretano tras E1-30	Espuma de poliuretano tras no	Espuma de poliuretano visto	(interior)	(exterior)	(exterior)
Viviendas	(1)	E-30 (1)			Si	Si (3)
Resto de zonas ocupables	Si	S1 (2)	No	Si		
Espacios ocultos no estancos	Si	Si (2)	No			
Aparcamiento de mas de 100m ²	Si	No	No			
(1) E1-30 es equivalente a RF-30. Un tabiquillo enlucido de 4cm es E1-30. (2) Dependiendo de la Clasificación en aplicación final de uso. (3) Excepto fachadas ventiladas y medianeras de mas de 18m.						

Figura 4. propiedades medioambientales.

Fuentes: (Torres, 2020)

Solución constructiva	Composición	Clasificación ante el fuego
Desnudo	6mm de fibrocemento 40mm de PUR..	E, D-s3, C-s3,do
Enlucido de yeso	6mm de fibrocemento 40mm de PUR. 15mm de enlucido de yeso.	B-s1
Cubierta metálica	0.6mm de chapa galvanizada grecada	B-s3

Figura 5. propiedades medioambientales

Fuentes: (Torres, 2020)

El uso de la Espuma de Poliuretano en las viviendas contribuye a que el consumo de energía en estas (consumo que produce efecto invernadero) sea mucho menor. Así, considerando un ciclo de vida del Poliuretano de 50 años, se obtiene un balance muy positivo sobre el efecto invernadero al usar dicho producto como aislante térmico. (Torres, 2020)

2.2.5.10. Propiedades Acústicas de la Espuma de Poliuretano.

La fácil aplicación de la Espuma de Poliuretano es una ventaja en este caso, porque los productos aplicados mediante paneles necesitan de una aplicación realmente cuidadosa.

La Espuma de Poliuretano utilizada para el aislamiento térmico es un material ligero y de baja densidad, compuesto por celdas cerradas (>90%). Este producto, combinado con otros materiales, resulta muy efectivo para disminuir la transmisión de sonidos y para amortiguar vibraciones y eliminar resonancias. (Torres, 2020).

2.2.6. Normativa Básica de la Aplicación de la Espuma de Poliuretano.

En la aplicación de la espuma de poliuretano es esencial determinar el espesor necesario para cada solución constructiva y, por esta razón, el responsable de la obra debe atenerse a los requisitos establecidos en las siguientes normas: (Torres, 2020).

2.2.7. Proceso de Medición del Espesor de la Espuma de Poliuretano:

Para medir el espesor, el operario contará con un punzón graduado o una herramienta similar cuyo diámetro no supere los 2 mm. Durante este proceso, la Norma UNE 92120-2 indica que se han de tomar dentro de la superficie diez puntos, cinco de espesor alto y otros cinco aparentemente de espesor bajo. (Torres, 2020)

Tras este proceso, el resultado del cálculo del espesor será la media de las diferentes medidas, sin contar los cuatro valores extremos, no pudiendo ser ninguna de las medidas consideradas inferior en más de un 25% a la media general.

Este proceso se realizará al menos cada 75 m² y, como mínimo, por cada unidad de obra y por día. En el caso de un nivel de frecuencia intenso, el reglamento indica que la medición se debe realizar cada 50 m² y, como mínimo, una medición por unidad de obra y por día.

2.2.8. Propiedades del Proceso de Aplicación de la Espuma de Poliuretano.

Aplicador profesional. A diferencia de resto de materiales aislantes, con la espuma de poliuretano es necesario un aplicador profesional para la proyección del producto en la obra. Lo que supone una garantía buena de instalación. Proyección en situ. Este proceso garantiza la rapidez de ejecución, la solución sencilla de los puentes térmicos y además no es necesario disponer de espacio para que el aislante sea almacenado. Único producto aislante con posibilidad de doble certificación, rapidez en la aplicación, la rapidez convierte a la espuma en material más aplicado, por ser un revestimiento continuo. (Torres, 2020).

El comportamiento mecánico que resulta de la combinación de chapa metálica y espuma de poliuretano. La rigidez inigualable de este conjunto (efecto sándwich)

permite la construcción de elementos de grandes dimensiones. El aislamiento térmico del panel debido a la baja conductividad térmica de la espuma de poliuretano, la más baja de todos los materiales aislantes. La estanqueidad de los sistemas tanto al aire como a la humedad evita la degradación del aislante y por tanto aumentan su durabilidad. La ligereza del panel (entre 9 y 20 kg/m²) facilita el transporte, la manipulación, el montaje y el dimensionado de la estructura portante. La resistencia química y biológica son dos propiedades que aumentan la durabilidad del panel. Su carácter higiénico y de fácil limpieza hace a este innovador producto el idóneo en la industria alimentaria.

Son productos seguros y normalizados. Los paneles sándwich se fabrican de forma continua y otros de forma discontinua, a la medida y con la posibilidad de añadir accesorios para su montaje. (Torres, 2020)

2.3. Definiciones Generales

Espuma de poliuretano: Es un material plástico poroso formado por una agregación de burbujas, conocido también por los nombres coloquiales de gomaespuma en España o goma pluma en algunos países sudamericanos.

Arena: Se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm.

Arena triturada: es un producto con tamaño de sus partículas entre 0 y 4 milímetros resultado de la molienda y cribado a un tamaño menor de 4 mm en el circuito secundario en nuestra planta de fabricación de áridos.

Grava triturada: La grava triturada garantiza una mayor resistencia del hormigón, gracias a la conexión de las partículas angulosas. El agregado anguloso es el utilizado por excelencia en el campo de la construcción, aunque requiere más agua y esfuerzo para el amasado.

Granulometría: La granulometría constituye una de las propiedades físicas de los agregados (arena y piedra) que impacta directamente en la resistencia y el consumo de cemento del hormigón elaborado. Conceptualmente la granulometría es la distribución, en porcentaje, de los diversos tamaños del agregado en una muestra.

Granulometría del agregado grueso: La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la ASTM C 33, más otros seis números de tamaño para agregado grueso.

Curva granulométrica: La curva granulométrica de un suelo es una representación gráfica de los resultados obtenidos en un laboratorio cuando se analiza la estructura del suelo desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman.

Dosificación: Determina las proporciones adecuadas de los materiales que componen el concreto para obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o para lograr una superficie o adhesión correcta. Generalmente expresado en gramos por metro cúbico (g / m^3)

Resistencia: Capacidad para resistir fuerzas aplicadas y fuerzas sin romperse, aceptando deformaciones permanentes o deteriorándose de cualquier manera.

Compresión: Es el resultado de las tensiones o presiones presentes en un medio sólido o continuo deformable, caracterizado porque tiende a reducir el volumen del cuerpo y acortar el cuerpo en una dirección determinada.

Flexión: Es el esfuerzo que resulta de aplicar fuerzas perpendiculares al eje mayor del elemento lo que tiende a doblarlo. La difracción crea una compresión en la parte cóncava del elemento y una tracción en la parte convexa opuesta.

Ecosistema: Es el conjunto de especies de un área particular que interactúan entre sí y con su entorno abiótico; a través de procesos como el robo, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su entorno, para disolverse y formar parte del ciclo de energía y nutrientes.

Rigurosidad: Hace o hace exactamente lo que estaba decidido a hacer y muestra poca comprensión de los errores, debilidades, etc. Duro, extremo. Esto no permite desviaciones ni se adapta a diferentes circunstancias, necesidades.

Variables: Es la expresión simbólica representativa de un elemento no especificado contenido en un conjunto.

Renovables: Renovable significa la susceptibilidad o sospecha de ser renovado, y al mismo tiempo, puede, debe o debe renovarse, restaurarse, cambiarse, variarse, renovarse, transformarse, reconstruirse, modernizarse o reemplazarse para volver también a su estado original en algo puesto.

Innovación: Es utilizar el conocimiento para encontrar un nuevo camino que conduzca a un objetivo particular. Cada proceso de innovación es específico para cada

caso y es poco probable que aborde otros desafíos. Por esta razón, es difícil definir con precisión un método de innovación.

Concreto: Elemento deformable formado por cemento, grava, arena y agua, en el estado plástico que adquiere la forma del recipiente, se produce una reacción química entre el cemento y el agua, esto provoca el fraguado de la mezcla y se convierte en un elemento rígido, ya que utiliza material de construcción y soporta grandes cargas de presión

Estimaciones: Proceso de encontrar una aproximación a una medida que necesita ser evaluada para un propósito particular es utilizable incluso si los datos de entrada pueden ser incompletos.

2.4. Marco legal

2.4.1. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Dentro de los capítulos de la NEC, presentan requerimientos y métodos para la realización de losas macizas, unidireccionales y bidireccionales, ayudándonos también con normas extranjeras que nos serán de mucha ayuda para la realización de este trabajo de titulación, ayudándonos a elaborar los ensayos que sean necesarios y que cumplan con las normas estipuladas en el Ecuador.

2.4.2. Normas Técnicas Ecuatorianas

- **INEN NTE 696 y 697-Ensayos granulométricos.**

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, finos y gruesos por medio del tamizado.

Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón se determina la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables

- **INEN NTE 0860-Ensayos de Abrasión.**

Se puede definir como ensayo de abrasión al ensayo de laboratorio para evaluar la posible capacidad abrasiva de materiales. Una abrasión es un desgaste o roce superficial del material producido por fricción.

El objetivo de la prueba de desgaste por medio de la Máquina de los Ángeles es determinar la resistencia a la trituración o abrasión de los materiales pétreos utilizados en las mezclas Para determinar la resistencia se hace actuar una carga abrasiva sobre la muestra de material que se desee analizar

- **INEN NTE 0858-Determinación de la masa unitaria en agregado.**

Esta norma establece el método de ensayo para determinar en los áridos la masa unitaria en estado compactado y suelto, y el porcentaje de hueco.

En este método de ensayo se describen tres procedimientos para determinar la masa unitaria del árido, según sea el método de compactación con el cual se le coloca en un recipiente de medida. El procedimiento a utilizarse se selecciona en base al tamaño máximo de las partículas que conforman al árido.

- **INEN NTE 0857-Determinación del peso específico en agregado grueso.**

Esta norma establece el método de ensayo para determinar en el árido grueso: la densidad de volumen en estado seco, la densidad de volumen en estado saturado superficialmente seco, la densidad aparente y la absorción de agua.

Esta norma comprende a los áridos gruesos, sean como gravas, piedras naturales u obtenidas en la trituración artificial de rocas, que se utilizan para preparar hormigones.

El procedimiento que se describe en esta norma se basa en la determinación de la masa en aire y en agua del árido en estado saturado superficialmente seco, y en la determinación de la masa en aire del árido en estado seco, a fin de establecer las relaciones dadas por las definiciones.

- **INEN NTE 0856-Determinación del peso específico en agregado fino.**

Esta norma establece el método de ensayo para determinar: la densidad, la densidad relativa y la absorción del árido fino

Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido fino, la densidad relativa y la absorción del árido. Dependiendo del procedimiento utilizado

- **NTE INEN 0695-Muestreo de agregados**

Esta norma establece los procedimientos para la obtención de muestras de áridos, finos y gruesos para propósito de investigación preliminar de una fuente de abastecimiento

- **NTE INEN 0154-Designación de tamices**

Esta norma establece las dimensiones nominales de las aberturas de las mallas de alambre y placas perforadas que se usan en los tamices de ensayo

2.4.3. ACI-318M-11 (Instituto Americano del Concreto).

En esta norma podemos encontrar la dosificación de los materiales, el diseño y la construcción de hormigón estructural utilizado en edificios y, cuando corresponda, en estructuras no edificables. El Código también cubre la evaluación de la fuerza de las estructuras de hormigón existentes. Entre los temas cubiertos están: documentos contractuales; inspección; materiales; requisitos de durabilidad; hormigón calidad, mezcla y colocación; encofrado; tubos incrustados; juntas de construcción; detalles de refuerzo; análisis y diseño; fuerza y capacidad de servicio; cargas de flexión y axiales; cizalla y torsión.

2.4.4. Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM)

2.4.4.1. ASTM C330-04.

Esta norma la ASTM C330-04 con sus siglas en inglés (Asociación Americana de Ensayo de Materiales.). En esta norma nos podemos hacer referencia ya que esta es utilizada en los Estados Unidos de América y en todos los países del mundo, es aquella que se encarga de probar las resistencias de los materiales que serán utilizados en la construcción de casas, edificios, puentes, condominios. Etc. En realidad la norma ASTM C330-04 nos habla sobre las especificaciones estándar de los agregados livianos que se pueden utilizar para hormigones estructurales. (ASTM C330-04, 2014).

2.4.4.2. ASTM C 136-Ensayos Granulométricos

El presente método de prueba cubre la determinación de la distribución del tamaño de partículas de agregados finos y gruesos.

Algunas especificaciones para los agregados que hacen referencia a este método contienen requerimientos de clasificación que incluyen tanto fracciones de agregados

gruesos como de agregados finos. Se incluyen las instrucciones para la determinación granulométrica de dichos agregados.

2.4.4.3. ASTM C 131-Ensayo de Abrasión

Esta norma establece el método de ensayo para determinar el valor de la degradación del árido grueso de tamaño inferior a 37,5 mm, mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto.

El valor de la degradación es utilizado como indicador de la calidad relativa o de la competencia de áridos y fuentes de áridos, que tienen composiciones mineralógicas similares. Los resultados obtenidos por este ensayo no permiten realizar comparaciones entre fuentes de diferente origen, composición o estructura.

Los áridos referidos en esta norma pueden ser gravas, piedras naturales, así como otros materiales obtenidos por trituración.

2.4.4.4. ASTM C 172 -Toma de muestra de concreto.

Esta práctica trata sobre los procedimientos de obtención de muestras representativas de concreto fresco entregado en el lugar del proyecto sobre las cuales se van a realizar ensayos para determinar el cumplimiento con los requisitos de calidad de las especificaciones bajo las cuales el concreto es suministrado. La práctica incluye muestreo de mezcladoras estacionarias, de pavimentación y camiones mezcladores, y de equipo agitador o no agitador utilizado para transportar concreto mezclado en planta.

2.4.4.5. ASTM C 192 -Elaboración y curado de muestra de concreto

Esta práctica proporciona los requisitos estandarizados para la preparación de materiales, el mezclado de hormigón, y la preparación y curado de especímenes de prueba de hormigón bajo condiciones de laboratorio.

Si la preparación de los especímenes se controla de conformidad con lo estipulado aquí, los especímenes pueden utilizarse para desarrollar información destinada a los siguientes propósitos:

Cálculo de la proporción de mezclas para hormigón proyectado,

Evaluación de mezclas y materiales diferentes,

Correlación con pruebas no destructivas, y

Creación de especímenes para propósitos de investigación.

2.4.4.6. ASTM C 39 -Resistencia a la compresión.

Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de resistencia a la compresión por este método de ensayo, dado que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho de materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y la forma del espécimen, dosificación, procedimientos de mezclado, los métodos de muestreo, moldeo, y fabricación y la edad, temperatura, y las condiciones de humedad durante el curado.

Este método de ensayo es usado para determinar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las Prácticas C31/C31M,

C192/C192M, C617/C617M, C1176/C1176M, C1231/C1231M, y C1435/C1435M, y los Métodos de Ensayo C42/C42M, C873/C873M, y C1604/C1604M.

Los resultados de este método de ensayo son usados como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado, y colocación del concreto; determinación del cumplimiento de las especificaciones; control para la evaluación de la efectividad de aditivos; y usos similares.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Metodología

Según Hernández, Baptista, & Fernández los proyectos de diseño experimental pueden ser una excelente manera de probar algo diferente. Son una excelente alternativa al trabajo diario habitual que se trata más de crear, pudiendo decir que es un estudio de tipo experimental si al final del mismo se ha identificado cambios entre las sustancias o variables unidas, cabe mencionar que la experimentación se puede realizar con cualquier tipo de sujetos, es decir animales, planta, objetos u otros materiales basándose en principios éticos, a fin de poder establecer el efecto que genera una causa expuesta o manipulada (Hernández, Baptista, & Fernández, 2015).

El estudio de este proyecto de titulación se fundamenta en la investigación exploratoria, debido a que se busca realizar un análisis comparativo entre los resultados del comportamiento mecánico de una viga de hormigón armado tradicional y el de una viga de hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido, por lo cual estos diseños de vigas se someten a situaciones representativas y las diferentes variables que son manipuladas por los investigadores, para así, poder determinar la existencia de correlación, en consecuencia, es indispensable el uso de laboratorio en donde se realicen pruebas que permitan identificar la resistencia a la flexión y compresión de los cilindros y vigas, para obtener los resultados según los objetivos planteados.

3.2. Tipo de investigación.

Existen varios tipos de investigación, y dependiendo de los fines que se persigan, los investigadores se decantan por un tipo de método u otro, o a su vez la combinación de más de uno. En este artículo describiremos tres tipos o métodos de investigación que se consideraron en este proyecto: la exploratoria, la descriptiva y la explicativa para un diseño experimental.

Clasificar una investigación de tipo descriptiva, exploratoria o explicativa tiene que ver con la profundidad de la misma; es decir, según el nivel de conocimiento que se desea alcanzar (TIPOS DE INVESTIGACION, 2017).

3.2.1. Investigación Exploratoria

Las investigaciones de tipo exploratorias ofrecen un primer acercamiento al problema que se pretende estudiar y conocer. La investigación de tipo exploratoria se realiza para conocer el tema que se abordará, lo que nos permita “familiarizarnos” con algo que hasta el momento desconocíamos. Los resultados de este tipo de tipo de investigación nos dan un panorama o conocimiento superficial del tema, pero es el primer paso inevitable para cualquier tipo de investigación posterior que se quiera llevar a cabo. Con este tipo de investigación o bien se obtiene la información inicial para continuar con una investigación más rigurosa, o bien se deja planteada y formulada una hipótesis (que se podrá retomar para nuevas investigaciones, o no). (TIPOS DE INVESTIGACION, 2017).

3.2.2. Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva es la que se utiliza, tal como el nombre lo dice, para describir la realidad de situaciones, eventos, personas, grupos o comunidades que se

estén abordando y que se pretenda analizar En este tipo de investigación la cuestión no va mucho más allá del nivel descriptivo; ya que consiste en plantear lo más relevante de un hecho o situación concreta. De todas formas, la investigación descriptiva no consiste únicamente en acumular y procesar datos. El investigador debe definir su análisis y los procesos que involucrará el mismo. A grandes rasgos, las principales etapas a seguir en una investigación descriptiva son: examinar las características del tema a investigar, definirlo y formular hipótesis, seleccionar la técnica para la recolección de datos y las fuentes a consultar. (TIPOS DE INVESTIGACION, 2017).

3.2.3. Investigación Explicativa

La investigación de tipo explicativa ya no solo describe el problema o fenómeno observado, sino que se acerca y busca explicar las causas que originaron la situación analizada. En otras palabras, es la interpretación de una realidad o la explicación del por qué y para qué del objeto de estudio; a fin de ampliar el “¿Qué?” de la investigación exploratoria y el “¿cómo?” de la investigación descriptiva. La investigación de tipo explicativa busca establecer las causas en distintos tipos de estudio, estableciendo conclusiones y explicaciones para enriquecer o esclarecer las teorías, confirmando o no la tesis inicial (TIPOS DE INVESTIGACION, 2017).

Se realizará una investigación de tipo exploratoria, descriptivo y explicativa con enfoque cuantitativo, en donde se estudiará el comportamiento que tendría la espuma de poliuretano expandido como parte del diseño de la viga de hormigón armado.

Las pruebas realizadas posteriormente a la resistencia de los cilindros y vigas de hormigón armado tradicional y hormigón armado con la inclusión de espuma de

poliuretano expandido, están sujetas a las respectivas normas aplicadas en los ensayos de laboratorio, para así determinar si cumple con los parámetros de las normas establecidas.

3.3. Enfoque

El enfoque cuantitativo (que representa, como se expuso, un conjunto de procesos) es vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, se puede redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis. (Fernandez, 2016).

En esta investigación el enfoque es cuantitativo, dado que se realizará una amplia recolección de información, datos y magnitudes numéricas entre las cuales podemos determinar la resistencia de la viga de hormigón armado tradicional y la viga de hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido. Al final se medirán las variables y se analizarán los datos obtenidos en la investigación, todo este proceso se debe realizar de conformidad a lo establecido en las normas y procedimientos, sin relajar la observancia de las mismas, siguiendo un rígido proceso de toma de muestras.

3.4. Técnicas de la investigación

Las técnicas de investigación son procesos e instrumentos que se utilizan al iniciar el estudio de un fenómeno determinado. Estos métodos permiten recopilar, examinar y exponer la información, de esta forma se logra el principal objetivo de toda investigación, que es adquirir nuevos conocimientos. La elección de la técnica de investigación más adecuada depende del problema que se desea resolver y de los objetivos planteados, motivo por el cual esta elección resulta ser un punto fundamental en todos los procesos investigativos. (lifeder, 2020).

Una vez determinado la espuma de poliuretano expandido como material a estudio, se realizarán estudios que nos permitan recolectar y examinar la información de la muestra tomada en el laboratorio.

Las técnicas que se van a utilizar en esta investigación son los ensayos correspondientes de laboratorio.

Los instrumentos utilizados en la investigación son:

Laboratorio de mecánica de suelo y concreto

Equipo de laboratorio

Formatos de laboratorio

Fichas de observación

Para la primera etapa de esta investigación, su enfoque es la espuma de poliuretano expandido.

Luego se procede a diseñar el hormigón armado tradicional y el hormigón con la inclusión de espuma de poliuretano expandido preparando los cilindros y vigas.

En la última etapa se procede a realizar la toma de muestras y los ensayos requeridos por la norma.

3.5. Población

Los autores Hernández, Fernández y Baptista indican que en el enfoque cuantitativo se busca generalizar los datos obtenidos en un grupo (muestra) a una comunidad mayor (población).

Para esta investigación la población será la cantidad de cilindros y vigas utilizados para cada ensayo, tres muestras por hormigón tradicional, 18 muestras de hormigón con espuma de poliuretano, 9 muestras de cilindro, 9 muestras de vigas, las muestras se estudian dependiendo del volumen de estas, es decir, para anticipar una selección para la investigación se usará hormigón con diseño de una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y una dosificación variable con la inclusión de espuma de poliuretano expandido, como un nuevo agregado el cual se debe añadir en cantidades diferentes, lo cual dará como resultado diferentes resistencias a la compresión y flexión.

Según Hernández & Fernández explican cómo delimitar la magnitud adecuada de una muestra cuando procuramos generalizar los datos alcanzados de una población y cómo ejecutarse para conseguir la muestra, dependiendo del modelo de selección escogido, en ciertas investigaciones no se llevan a cabo estudios de muestras, solo un censo a pequeña escala.

Al definir la muestra una vez delimitada la población que se va a analizar y la extensión de los datos alcanzados, tal como lo hablan muchos autores de libros acerca de investigación científica entre ellos Hernández, Fernández y Baptista, enseñan que al momento en que la población es pequeña como en esta investigación solo analizamos un determinado número de cilindros y vigas de hormigón utilizando espuma de poliuretano expandido con diferentes cantidades para su dosificación con el fin de obtener la dosificación óptima, sometido a pruebas de resistencia y flexión a los 7-14-28 días .

La muestra es igual a la población, es decir, la muestra es una parte estadística de la población que tiene la misma particularidad homogénea y es a la muestra a quien se le suministran los instrumentos de adquisición de datos, en este caso la muestra son los cilindros y vigas de hormigón que están hechas con diferentes cantidades de espuma de poliuretano expandido para identificar la dosificación perfecta.

3.6. Muestra

Cuando el universo es pequeño la muestra es la misma que la del universo. (HERNANDEZ, METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 6TA EDICIÓN, 2014)

Como referencia, el universo, en esta investigación es realmente pequeño y con características individuales bien definidas por lo que consideramos la muestra igual al universo, es decir, un total de 9 cilindros y 9 vigas, diferentes cantidades de poliuretano expandido.

3.7. Validez y confiabilidad

3.7.1. Validez

Para la efectiva recolección de datos, los instrumentos que se utilizaron para realizar el análisis comparativo, son 100% válidos debido a que se encuentran calibrados y acreditados por la Universidad Estatal de Guayaquil lo que garantiza a su vez, la precisión de los instrumentos de ensayo.

3.7.2. Confiabilidad

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se realizaron ensayos con equipos y herramientas absolutamente calibrados del laboratorio Ruffini, el cual pertenece a la facultad de ingeniería civil en la Universidad Estatal de Guayaquil, lo cual brinda resultados totalmente confiables que garantiza la veracidad que requiere este proyecto.

3.8. Análisis de resultados

Una vez realizados los respectivos ensayos de laboratorio se realizan los respectivos

cálculos para alcanzar la dosificación óptima y tener los resultados esperados. Se contrastará los resultados de una viga de hormigón armado tradicional y una viga de hormigón armado incluyendo la espuma de poliuretano expandido.

CAPITULO IV

4. PROPUESTA

4.1. Objetivo general de la propuesta.

Se analizó el comportamiento mecánico de una viga de hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido como agregado, versus una viga fabricada con el hormigón tradicional.

4.2. Objetivos específicos de la propuesta.

Se describió las propiedades del poliuretano expandido en trabajos previos.

Se determinó la dosificación de los materiales que cumpla con los estándares de calidad para la elaboración de una viga de hormigón utilizando poliuretano expandido.

Se comparó los índices de densidad y rotura a flexión entre una viga tradicional y la viga de hormigón con espuma de poliuretano expandido como agregado

4.3. Desarrollo experimental

Para el desarrollo de este capítulo, se realizó un diseño de mezcla de concreto $f'c$ 250 Kg/cm² con materiales que cumplen con las normas especificadas en el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), para su comparación con nuestro diseño de hormigón con la espuma de poliuretano expandido.

4.4. Investigación de campo.

Los ensayos realizados se ejecutaron de acuerdo a las Norma INEN respectivas y siguiéndolas Especificaciones del MTO para este diseño, los porcentajes de los

agregados utilizado para este diseño de $f'c$ 250Kg/cm² nos basamos al libro de TECNOLOGIA DEL CONCRETO, en su capítulo 8 dosificación de mezcla de concreto, en nuestro diseño solo reemplazamos el agregado grueso por nuestro material vermiculita para tener las mismas proporciones y así un mejor resultado comparativo en resistencia.

4.5. Diseño patrón de hormigón de $f'c$ 210 Kg/cm².

Para obtener este diseño, realizamos los ensayos respectivos a los materiales grueso y finos de acuerdo a las normas INEN, y las recomendaciones del Ministerio de Trabajo y Obras Públicas, obteniendo los resultados de cada ensayo realizado al material grueso y como al material fino, podemos conocer el diseño respectivo para una resistencia a la compresión de $f'c$ 250 Kg/cm². Los ensayos realizados son:

4.5.1. Contenido de humedad

Contenido de humedad agregado grueso.

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO	
NORMA ASTM C 566			
Origen:	Agregado grueso	Solicitante:	
Tesis:	Análisis comparativo del hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido	Ensayado:	G.V.
		Calculado:	G.V.
Fecha:	Agosto del 2021	Informe N°	
Tamaño máximo nominal:		mm	
Masa de la muestra original (ver tabla)	8,000.0	g	
Masa de la muestra seca	7,933.2	g	
Contenido de humedad	0.8	%	
Tamaño máximo nominal del agregado		Masa mínima	
(mm)	Tamiz No.	(kg)	
4.75	4	0.5	
9.5	3/8"	1.5	
12.5	1/2"	2	
19.0	3/4"	3	
25.0	1"	4	
37.5	1 1/2"	6	
50.0	2"	8	
Laboratorista			

Figura 6. Contenido de humedad agregado grueso.
Elaborado por: Santos-Zúñiga (2020)

Contenido de humedad agregado fino.

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO	
NORMA ASTM C 566			
Origen:	Agregado fino	Solicitante:	
Tesis:	Análisis comparativo del hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido	Ensayado:	G.V.
		Calculado:	G.V.
Fecha:	Agosto del 2021	Informe N°	
Tamaño máximo nominal:		mm	
Masa de la muestra original (ver tabla)	2,000.0	g	
Masa de la muestra seca	1,844.5	g	
Contenido de humedad	7.8	%	
Tamaño máximo nominal del agregado		Masa mínima	
(mm)	Tamiz No.	(kg)	
4.75	4	0.5	
9.5	3/8"	1.5	
12.5	1/2"	2	
19.0	3/4"	3	
25.0	1"	4	
37.5	1 1/2"	6	
50.0	2"	8	
Laboratorista			

Figura 7. Contenido de humedad agregado fino
Elaborado por: Santos-Zúñiga. (2020)

4.5.2. Granulometría.

Granulometría agregado fino.

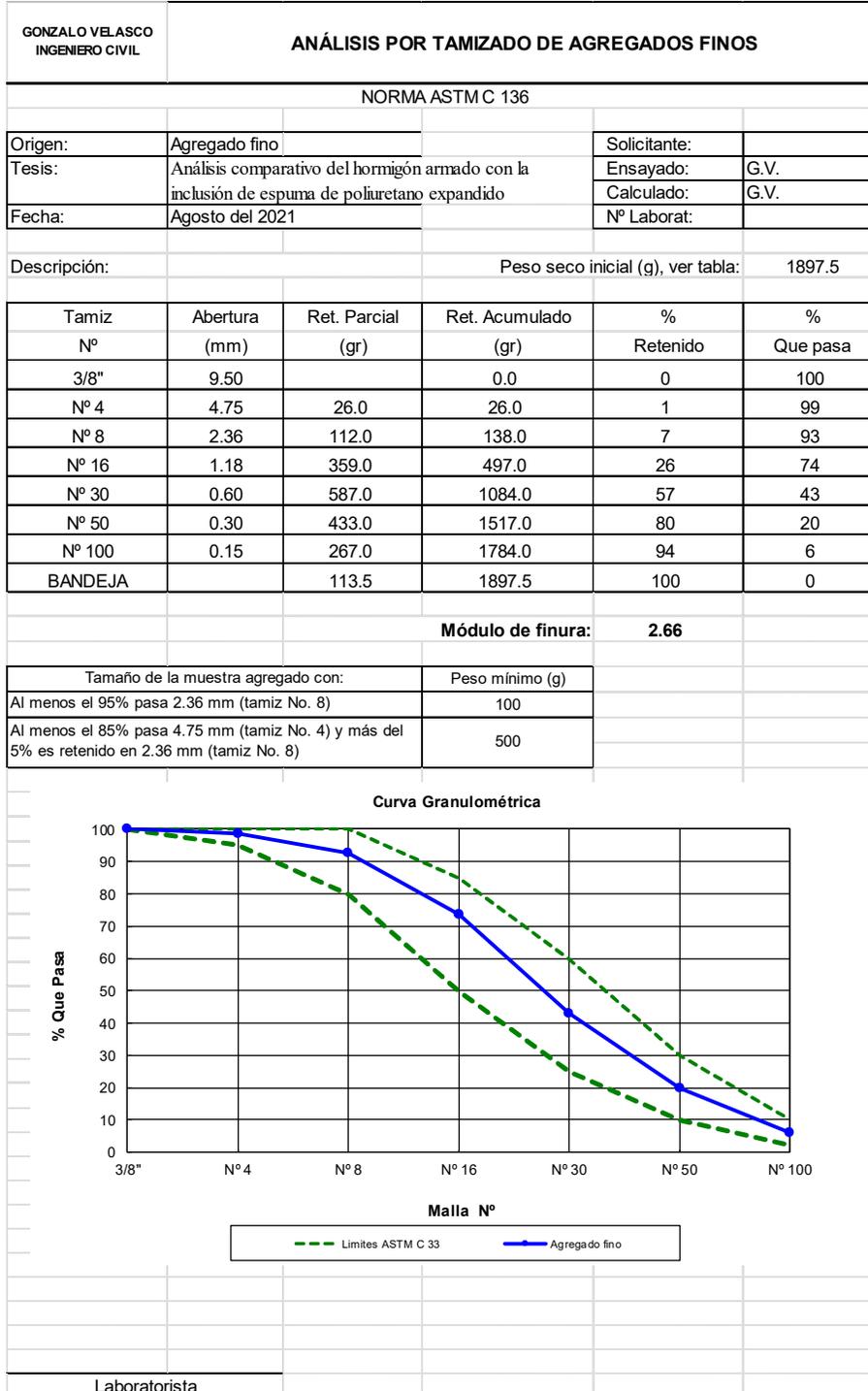


Figura 8. Granulometría agregado fino
Elaborado por: Santos-Zúñiga. (2020)

Granulometría agregado grueso.

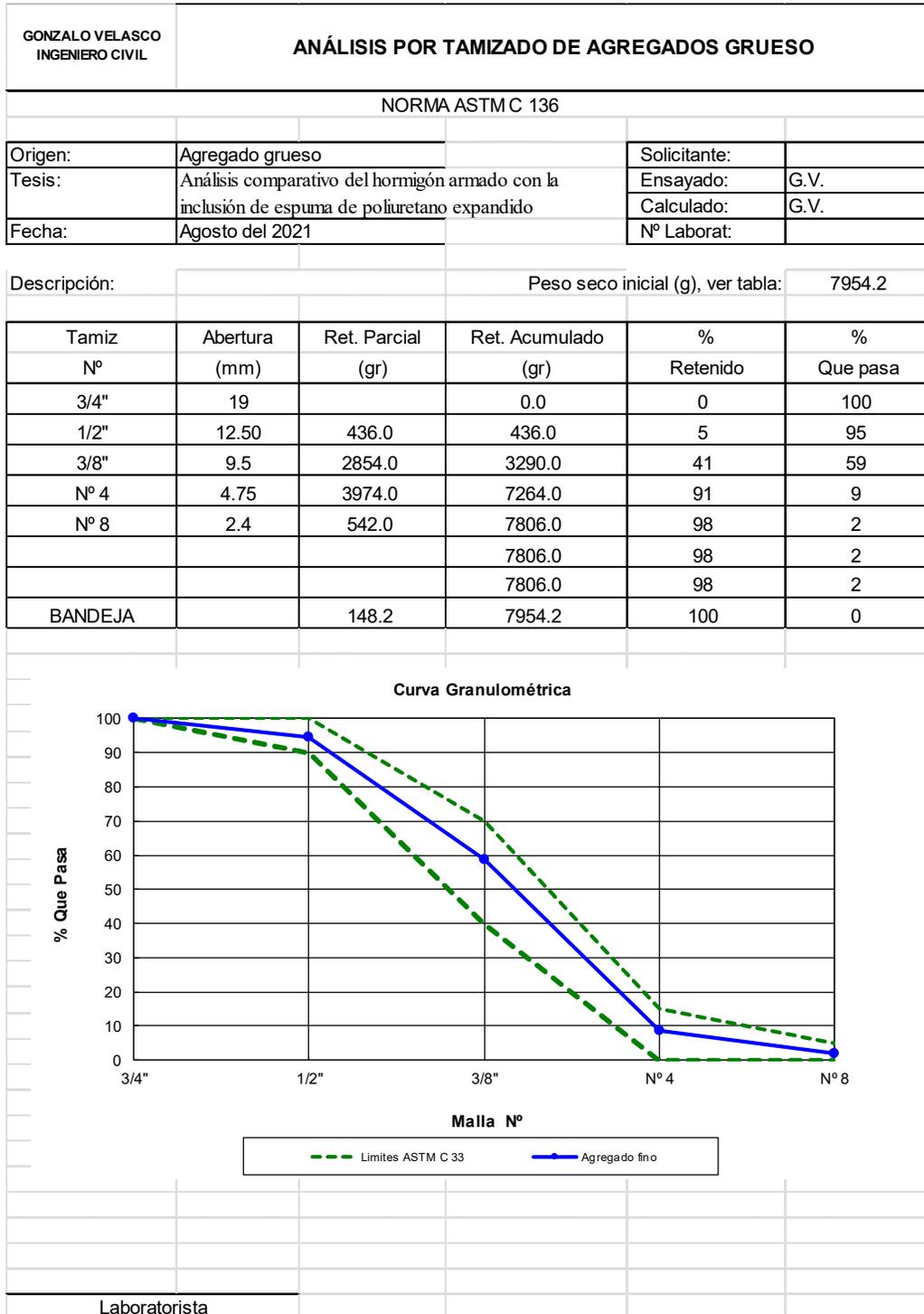


Figura 9. Granulometría agregado grueso
Elaborado por: Santos-Zúñiga (2020)

4.5.3. Peso unitario.

Peso unitario del agregado fino.

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		PESO UNITARIO EN AGREGADO	
NORMA ASTM C 29			
Origen:	Agregado fino		Solicitante:
Tesis:	Análisis comparativo del hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido		Ensayado: G.V.
			Calculado: G.V.
Fecha:	Agosto del 2021		Nº Laborat:
Descripción:	arena fina		
V: volumen del recipiente, ver tabla	2,795	cm ³	
T: masa del recipiente	1,867	g	
Msr: masa agregado suelto + recipiente	6,133	g	
Mcr: masa agregado compactado + recipiente	6,384	g	
Ms: masa agregado suelto Msr - T	4,266	g	
Mc: masa agregado compactado Mcr - T	4,517	g	
Peso unitario suelto	1,526	kg/m ³	
Peso unitario compactado	1,616	kg/m ³	
		Tamaño máximo nominal	Capacidad del recipiente
		mm (plg)	pie ³ (lt)
		< = a 12.5 (1/2)	1/10 (2.8)
		25.0 (1)	1/3 (9.3)
		37.5 (1 1/2)	1/2 (14.0)
		75.0 (3)	1 (28.0)
Laboratorista			

Figura 10. *Peso unitario del agregado fino*
Elaborado por Santos-Zúñiga (2020)

Peso unitario del agregado grueso.

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		PESO UNITARIO EN AGREGADO	
NORMA ASTM C 29			
Origen:	Agregado grueso	Solicitante:	
Tesis:	Análisis comparativo del hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido	Ensayado:	G.V.
		Calculado:	G.V.
Fecha:	Agosto del 2021	Nº Laborat:	
Descripción:	Grava triturada gris		
V: volumen del recipiente, ver tabla	2,795	cm ³	
T: masa del recipiente	1,867	g	
Msr: masa agregado suelto + recipiente	6,523	g	
Mcr: masa agregado compactado + recipiente	6,658	g	
Ms: masa agregado suelto Msr - T	4,656	g	
Mc: masa agregado compactado Mcr - T	4,791	g	
Peso unitario suelto	1,666	kg/m ³	
Peso unitario compactado	1,714	kg/m ³	
		Tamaño máximo nominal	Capacidad del recipiente
		mm (plg)	pie ³ (lt)
		< = a 12.5 (1/2)	1/10 (2.8)
		25.0 (1)	1/3 (9.3)
		37.5 (1 1/2)	1/2 (14.0)
		75.0 (3)	1 (28.0)
Laboratorista			

Figura 11. *Peso unitario del agregado grueso*
Elaborado por: Santos-Zúñiga. (2020)

4.5.4. Gravedad específica y absorción.

Gravedad específica y absorción del agregado fino.

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO	
NORMA ASTM C 128			
Origen:	Agregado fino	Solicitante:	
Tesis:	Análisis comparativo del hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido	Ensayado:	G.V.
		Calculado:	G.V.
Fecha:	Agosto del 2021	Informe N°	
Datos:			
A: Peso seco de la muestra en aire		62.0	g
B: Peso del picnómetro lleno con agua		155.0	g
S: Peso en estado sss de la muestra en aire (500+/-10 g)		63.3	g
C: Peso del picnómetro con muestra y agua hasta marca		192.6	g
Densidad y absorción:			
G_s : gravedad específica seca		2,412	kg/m ³
G_{sss} : gravedad específica en sss		2,463	kg/m ³
G : gravedad específica aparente		2,541	kg/m ³
P_o : porcentaje de absorción de agua		2.10	%
Fórmulas:			
G _s = A/(B+S-C)	G = A/(A+B-C)		
G _{sss} = S/(B+S-C)	P _o = (S-A)/Ax100		
Laboratorista			

Figura 12. Gravedad específica y absorción del agregado fino.
Elaborado por: Santos-Zúñiga. (2020)

Gravedad específica y absorción del agregado grueso.

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO		
NORMA ASTM C 127				
Origen:	Agregado grueso	Solicitante:		
Tesis:	Análisis comparativo del hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido	Ensayado:	G.V.	
		Calculado:	G.V.	
Fecha:	Agosto del 2021	Informe N°		
Tamaño máximo nominal:		mm		
Datos:				
A: Peso seco de la muestra en aire, ver tabla		3,200.0	g	
B: Peso en estado sss de la muestra en aire		3,267.0	g	
C: Peso en agua de la muestra saturada		2,007.0	g	
Densidad y absorción:				
Gs: gravedad específica seca		2,540	kg/m ³	
Gsss: gravedad específica en sss		2,593	kg/m ³	
G: gravedad específica aparente		2,682	kg/m ³	
Po: porcentaje de absorción de agua		2.09	%	
Fórmulas:		Tamaño nominal	Peso mínimo de	
Gs = A/(B-C)	G = A/(A-C)	mm (plg)	muestra (kg)	
Gsss = B/(B-C)	Po = ((B-A)/A) x100	12.5 (1/2)	2	
		19.0 (3/4)	3	
		25.0 (1)	4	
		37.5 (1 1/2)	5	
		50.0 (2)	8	
		63.0 (2 1/2)	12	
		75.0 (3)	18	
Laboratorista				

Figura 13. Gravedad específica y absorción del agregado grueso
Elaborado por: Santos-Zúñiga. (2020)

4.5.5. Abrasión.

Abrasión agregado grueso.

GONZALO VELASCO INGENIERO CIVIL		RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE AGREGADO GRUESO DE PEQUEÑO TAMAÑO POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE "LOS ANGELES"			
NORMA ASTM C 131					
Origen:	Agregado grueso			Solicitante:	
Tesis:	Análisis comparativo del hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido			Ensayado:	G.V.
Fecha:	Agosto del 2021			Calculado:	G.V.
			Informe N°		
Tamaño máximo nominal:	37.5	mm			
Gradación A, B, C ó D, ver tabla			A		
Peso inicial de la muestra con tamaño menor a (37.5 mm)			5,005	g	
Número de esferas, ver tabla			12		
Peso seco retenido en el tamiz No.12 después de 100 revoluciones			4,875	g	
Peso seco retenido en el tamiz No.12 después de 500 revoluciones			3,745	g	
Relación entre la pérdida a las 100 revoluciones y la pérdida a las 500 revoluciones, uniformidad de desgaste			0.10		
Porcentaje de pérdida			25	%	
Tamiz No, mm (plg)		Gradación			
Pasante	Retenido	A	B	C	D
37.5 (1 1/2)	25 (1)	1.250 +/- 25	-	-	-
25 (1)	19 (3/4)	1.250 +/- 25	-	-	-
19 (3/4)	12.5 (1/2)	1.250 +/- 10	2.500 +/- 10	-	-
12.5 (1/2)	9.5 (3/8)	1.250 +/- 10	2.500 +/- 10	-	-
9.5 (3/8)	6.3 (1/4)	-	-	2.500 +/- 10	-
6.3 (1/4)	4.75 (No. 4)	-	-	2.500 +/- 10	-
4.75 (No. 4)	2.36 (No. 8)	-	-	-	5.000 +/- 10
Total		5.000 +/- 10	5.000 +/- 10	5.000 +/- 10	5.000 +/- 10
Número de esferas		12	11	8	6
Peso de esferas (carga) g		5.000 +/- 25	4.584 +/- 25	3.330 +/- 20	2.500 +/- 15
Laboratorista					

Figura 14. Abrasión agregado grueso
Elaborado por: Santos-Zúñiga. (2020)

Con estos ensayos realizados y efectuado los cálculos respectivos para cada ensayo procedemos a realizar el diseño de hormigón de $f'c$ 250 Kg/cm², el diseño lo realizamos por medio de lo especificado en el libro de técnica de hormigón en el capítulo 8, diseño de hormigón. Con este diseño será nuestra unidad de patrón para comparar el diseño con la espuma de poliuretano expandido. El diseño se presenta a continuación y la rotura a compresión y flexión del diseño, además las roturas con proporciones de 3, 6 y 9 por ciento de la espuma de poliuretano expandido agregado a este diseño para determinar su comportamiento.

4.6. Diseño de hormigón de f'c 250 Kg7cm2

Diseño de hormigón f'c 250 Kg7cm2

DATOS PROPORCIONADOS		AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
TAMAÑO DEL AGREGADO MAXIMO			3/4"
PESO VOLUMETRICO SUELTO G (Kg/m³)		1526	1666
PESO VOLUMETRICO VARILLADO G (Kg/m³)			1714
DENSIDAD S S S (Kg/m³)		2463	2593
M.F.		2.66	
% ABSORCION		2.1	2.09
DATOS TECNICOS REQUERIDOS			
REVENIMIENTO SIN AIRE INCLUIDO	5 a 10 cm	Cantidad de aire(%)	2.0
RESISTENCIA ESPECIFICA f'c (Kg/cm2)	250	Cantidad de agua(lts)	200
RESISTENCIA REQUERIDA f'r (Kg/cm2)	310	Cantidad de cemento(Kg)	507.6
coeficiente volumetrico de la piedra	0.66	Relacion agua/cemento (A/C)	0.394
		Densidad cemento (Kr/m3)	2850
CALCULOS			
VOLUMEN ABSOLUTO EN 1M3 DE HORMIGON		PESO EN KG PARA 1 M3 DE HORMIGON	
Agua	0.2	Agua	200.0
Cemento	0.178	Cemento	507.6
Aire	0.02	Piedra	1131.24
Piedra	0.436	Arena	407.9
Volumen total	0.834	Masa total	2246.8
Arena	0.166		
PESO VOLUMETRICO DEL CONCRETO (usando agregado S.S.S.)		PESO EN KG PARA UN SACO DE CEMENTO	
Agua	200	Agua	20.5
Cemento	507.614	Cemento	52.0
Piedra	1154.88	Piedra	115.9
Arena	416.50	Arena	41.8
Masa total	2278.99		
VOLUMEN RELATIVO PARA UN SACO DE CEMENTO		DETERMINACION DE CAJONERAS (0,40 X 0,40 X 0,20) VOL. 0,032 M3	
Piedra	0.0696	Piedra	2.2
Arena	0.0274	Arena	0.9

Figura 15. Diseño de hormigón
Elaborado por: Santos-Zúñiga. (2020)

4.7. Rotura de cilindros.

Control de rotura.

CONTROL DE ROTURA DE HORMIGÓN																																							
TEMA DE TESIS : Análisis comparativo del comportamiento mecánico de una viga de hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido																																							
FECHA DE TOMA	ELEMENTO	f'c	DIAS	FECHA DE ROTURA	1	2	3	PROM.	%	DIAS	FECHA DE ROTURA	1	2	3	PROM.	%	DIAS	FECHA DE ROTURA	1	2	3	PROM.	%	DIAS	FECHA DE ROTURA	1	2	3	PROM.	%	TESTIGOS						OBSERVACIONES		
					Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2					Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2					Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2					Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2			Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	PROM.	%			
					DIAS	FECHA DE ROTURA	1					2	3	PROM.					%																				
15/8/2021	Hormigón	250	7	22/8/2021	153.77	151.92	153.92	153.2	61%	14	29/8/2021	184.73	183.18	185.34	184.4	74%	21	5/9/2021	210.44	209.56	211.44	210.9	84%	28	12/9/2021	253.21	248.72	250.03	250.7	100%									El peso del cilindro es de 11,2 Kg
15/8/2021	Hormigón con 3% de poliuretano	250	7	22/8/2021	143.77	141.92	143.92	143.2	57%	14	29/8/2021	174.73	173.18	175.34	174.4	70%	21	5/9/2021	200.44	199.56	201.44	200.9	80%	28	12/9/2021	243.21	238.72	240.03	240.7	96%									El peso del cilindro es de 10,2 Kg
23/8/2021	Hormigón con 6% de poliuretano	250	7	30/8/2021	120.45	132.87	129.82	127.7	51%	14	6/9/2021	157.44	159.45	157.56	158.2	63%	21	13/9/2021	173.76	171.07	170.93	172.3	69%	28	20/9/2021	207.88	209.56	212.18	209.9	84%									El peso del cilindro es de 9,4 Kg
23/8/2021	Hormigón con 9% de poliuretano	250	7	30/8/2021	100.45	102.87	99.82	101.0	40%	14	6/9/2021	129.44	129.45	127.56	128.8	52%	21	13/9/2021	143.76	141.07	140.93	142.3	57%	28	20/9/2021	165.88	169.56	152.18	162.5	65%									El peso del cilindro es de 8,1 Kg

Figura 16. Control de rotura
Elaborado por: Santos-Zúñiga. (2020)

4.8. Rotura a flexión

REGISTRO ENSAYOS A FLEXION											
NORMA ASTM C78											
TEMA DE TESIS : Análisis comparativo del comportamiento mecánico de una viga de hormigón armado con la inclusión de espuma de poliuretano expandido											
ELEMENTO	FECHA TOMA	FECHA ROTURA	SECTOR FISURA	EDAD (días)	DIMENSIONES (mm)				CARGA Kn	MOD. RUPTURA MPa	
					b	d	L	a			
Hormigón f _c 250 Kg/cm ²	15/8/2021	22/8/2021	Centro	7	150	150	450		16.84	2.25	
					150	150	450		17.22	2.30	
					150	150	450		17.29	2.31	
	15/8/2021	29/8/2021	Centro	14	150	150	450		20.76	2.77	
					150	150	450		20.95	2.79	
					150	150	450		21.19	2.83	
	15/8/2021	5/9/2021	Centro	21	150	150	450		24.61	3.28	
					150	150	450		23.77	3.17	
					150	150	450		24.12	3.22	
Hormigón 3% de poliuretano f _c 250 Kg/cm ²	15/8/2021	22/8/2021	Centro	7	150	150	450		12.84	1.71	
					150	150	450		13.22	1.76	
					150	150	450		13.29	1.77	
	15/8/2021	29/8/2021	Centro	14	150	150	450		15.76	2.10	
					150	150	450		15.95	2.13	
					150	150	450		16.19	2.16	
	15/8/2021	5/9/2021	Centro	21	150	150	450		19.61	2.61	
					150	150	450		18.77	2.50	
					150	150	450		19.12	2.55	
Hormigón 6% de poliuretano f _c 250 Kg/cm ²	15/8/2021	12/9/2021	Centro	28	150	150	450		22.44	2.99	
					150	150	450		23.38	3.12	
					150	150	450		23.21	3.09	
	15/8/2021	15/8/2021	Centro		150	150	450			0.00	
					150	150	450			0.00	
					150	150	450			0.00	
	Hormigón 9% de poliuretano f _c 250 Kg/cm ²	23/8/2021	30/8/2021	Centro	7	150	150	450		3.22	0.43
						150	150	450		3.04	0.41
						150	150	450		3.00	0.40
23/8/2021		6/9/2021	Centro	14	150	150	450		8.55	1.14	
					150	150	450		8.89	1.19	
					150	150	450		8.69	1.16	
23/8/2021		13/9/2021	Centro	21	150	150	450		11.21	1.49	
					150	150	450		12.43	1.66	
					150	150	450		12.05	1.61	
Hormigón 9% de poliuretano f _c 250 Kg/cm ²	23/8/2021	20/9/2021	Centro	28	150	150	450		15.07	2.01	
					150	150	450		14.87	1.98	
					150	150	450		14.73	1.96	
	23/8/2021	23/8/2021	Centro		150	150	450			0.00	
					150	150	450			0.00	
					150	150	450			0.00	

Figura 17. Gráfico de rotura a flexión.
Elaborado por: Santos-Zúñiga. (2020).

4.9. Resumen de los ensayos.

Se presenta el cuadro de resumen de los ensayos de rotura a compresión y flexión para determinar nuestros objetivos planteados en el tema investigativo propuesto. el cuadro de resumen de su dosificación del diseño, su rotura a compresión a los 28 días, su rotura a flexión a los 28 días y el peso de los cilindros, el cuadro de resumen lo presentamos a continuación.

RESUMEN DE LOS ENSAYOS DEL HORMIGON					
ELEMENTO	f'c	DOSIFICACION DEL DISEÑO (parihuela)	ROTURA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS Kg/cm²	ROTURA A LA FLEXION A LOS 28 DIAS Mpa	PESO DEL CILINDRO Kg
Hormigón	250	1:0,9:2,2	250.7	3.79	11,2
Hormigón con 3% de poliuretano	250	1:0,9:2,2	240.7	3.12	10,2
Hormigón con 6% de poliuretano	250	1:0,9:2,2	209.9	2.41	9,4
Hormigón con 9% de poliuretano	250	1:0,9:2,2	162.5	2.01	8,1

*Figura 18. Resumen ensayo de hormigón
Elaborado por: Santos-Zúñiga. (2020).*

5. CONCLUSIONES.

Para el proyecto de titulación, elaboramos un diseño de hormigón de $f'c$ 250 Kg/cm², con material que cumplan con las normas especificadas en el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, la finalidad es para que nos sirva de guía y poder compararlo con nuestro diseño utilizando el poliuretano expandido, las proporciones utilizadas es de acuerdo al hormigón a utilizar para los ensayos respectivos.

Los ensayos realizados fue combinar proporciones pequeñas ya que el poliuretano su densidad es 43 Kg/cm³, para ver si cumple con las normas establecidas para utilizarlo como diseño de hormigón, es necesario realizar los ensayos a compresión y determinar la proporción más iones que este dentro de lo permitido para utilizarlo en una deteriorada estructura, en nuestro caso como parte de una viga, hay que considerar que una viga su resistencia debe ser mayor 240 Kg/cm² dependiendo de la estructura a edificar.

Realizamos el diseño de hormigón para $f'c$ 250 Kg/cm², nuestro diseño patrón, la resistencia a la compresión a los 28 días debe llegar a un 100 % de la resistencia solicitada, el diseño nos dio una resistencia a la compresión de 250,7 kg/cm² la rotura a flexión es de a los 28 días es de 3,79 MPa el peso del cilindro es de 11,2 Kg, para las resistencia con un 3% de poliuretano expandido nos dio la resistencia a la compresión a los 28 días es de 240,7 kg/cm² la rotura a flexión es de a los 28 días es de 3,12 MPa el peso del cilindro es de 10,2 Kg, con 6% de poliuretano expandido nos dio la resistencia a la compresión a los 28 días es de 209,9 kg/cm² la rotura a flexión es de a los 28 días es de 2,41 MPa el peso del cilindro es de 9,4 Kg, y con un 9% de poliuretano expandido nos dio la resistencia a

la compresión a los 28 días es de 162,5 kg/cm² la rotura a flexión es de a los 28 días es de 2,01 MPa el peso del cilindro es de 8,1 Kg,

Con los resultados obtenidos podemos determinar que la utilización del poliuretano expandido es beneficioso ya que nos ayuda a tener un elemento alivianado debido a la densidad del poliuretano que es de 43 Kg/cm³, pero nos disminuye la resistencia tanto a compresión como a flexión, por eso es necesario trabajar con resistencia mayores a la solicitada para poder determinar qué porcentaje seria el adecuado utilizar y no afecta la resistencia mínima solicitada para una determinada estructura así tendremos estructura que cumple su resistencia y a su vez aliviamos el peso que ejerce la edificación a la cimentación propuesta según los estudios de suelos realizados.

Con los datos obtenidos podemos concluir que la utilización del poliuretano expandido es beneficioso para las construcciones de viviendas, porque se contara con estructuras alivianadas, ideal para construir sobre suelos de baja capacidad portante, la cual podría contar su mejora con un presupuesto más bajo debido a que su capacidad estructural seria adecuada para este tipo de estructura que poliuretano expandido sea parte de su estructura.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios de la durabilidad del poliuretano expandido al estar en contacto con el hormigón estructural, si cumplen con el tiempo para este elemento o solo podría utilizarse como un hormigón de baja densidad solo para alivianar estructuras no soportantes, realizando un estudio de este elemento podemos recomendar su utilización para las estructuras a construir.

Realizar varios ensayos con porcentajes variados del poliuretano expandido y con diversos diseños de hormigón para elaborar un cuadro de resumen y así determinar su utilización a diversos tipos de estructura, teniendo un mejor control de los porcentajes que satisfagan las necesidades para cada estructura, cumpliendo con las normas respectivas para las edificaciones estructurales.

Se recomienda realizar presupuesto de la utilización del hormigón con poliuretano expandido para ver si en el costo utilizando poliuretano expandido es menor que el hormigón estructural tradicional para poder recomendar la utilización en función del costo y así poder recomendar estructura de bajo costo y de estructura alivianada, para utilizarlo en suelos de baja capacidad portante.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Angamarca, M., & Caceres, R. (junio de 2015). *uce.edu.ec*. Recuperado el 2020, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5292/1/T-UCE-0011-189.pdf>
- AVILA, G. (1 de abril de 2015). <http://teconcreto123.blogspot.com/>. Recuperado el ENERO de 2020, de <http://teconcreto123.blogspot.com/p/los-agregados.html>
- Barba, C., & Garcia, V. (2018). *file:///C:/Users/Marcos/Downloads*. Recuperado el 2020, de *file:///C:/Users/Marcos/Downloads/CHRISTIAN_VICTOR_TESIS_TITULO_2019.pdf*
- Buatamante, D., & Diaz, C. (2017). *.unsa.edu.pe*. Recuperado el 2020, de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2894/MTbumedm030.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CANDO. (31 de marzo de 2015). bloquescando.com/. Recuperado el 2020, de <https://bloquescando.com/cemento-portland-usos-y-tipos/>
- CEMEX. (1 de enero de 2018). [cemexcolombia.com/](https://www.cemexcolombia.com/). Recuperado el ABRIL de 2020, de <https://www.cemexcolombia.com/concretos/baja-densidad>
- CHOQUE, I. W. (OCTUBRE,2016). *CONCRETO ARMADO*. LIMA.
- Cutimbo.Wilber. (2 de octubre de 2016). es.scribd.com/. Recuperado el 2020, de <https://es.scribd.com/document/326167423/CONCRETO-ARMADO-2016>
- Fernandez, J. (12 de julio de 2016). [jorgelfdez.wordpress](https://jorgelfdez.wordpress.com/). Recuperado el mayo de 2020, de <https://jorgelfdez.wordpress.com/2016/07/12/el-enfoque-cuantitativo/>
- HERNANDEZ. (2014). MEXICO.
- HERNANDEZ. (2014). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 6TA EDICIÓN*. MEXICO.
- jose, G. (25 de febrero de 2018). materialesalicante.com/. Recuperado el 2020, de <https://materialesalicante.com/hormigon-armado-composicion-caracteristicas-aplicaciones/>
- lifeder. (5 de mayo de 2020). *lifede*. Recuperado el mayo de 2020, de <https://www.lifeder.com/tecnicas-de-investigacion/>
- Lituma, M., & Zhunio, B. (octubre de 2015). *edu.ec*. Recuperado el 2020, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23112/1/Tesis.pdf>
- NORMAS APA. (2016). *normasapa.ne*. Recuperado el mayo de 2020, de <http://normasapa.net/que-es-una-muestra-y-como-se-selecciona/#:~:text=La%20muestra%20es%20una%20porci%C3%B3n%20representativa%20de%20una%20poblaci%C3%B3n.&text=Primero%2C%20se%20hace%20un%20censo,el%20dise%C3%B1o%20de%20la%20tesis>.
- noticias.universia.c*. (4 de septiembre de 2017). Recuperado el mayo de 2020, de <https://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.html>
- Perez, J., & Merino, M. (28 de febrero de 2020). *definicion.de/*. Recuperado el 2020 de abril, de <https://definicion.de/hormigon/>

rey, c. (21 de junio de 2017). <https://construtorarey.com/>. Recuperado el 2020, de <https://construtorarey.com/hormigon-armado-estructuras-conceptos-basicos/>

Saavedra, F., & Coorimanya, F. (2019). <http://repositorio.uandina.edu.pe/>. Recuperado el 2020, de http://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/UAC/3281/1/Ferdinan_Fernando_Tesis_bachiller_2020.pdf

tecnica de investigacion social. (12 de octubre de 2017). *tecnica de investigacion social*. Recuperado el mayo de 2020, de <https://sites.google.com/site/tecninvestigacionsocial/temas-y-contenidos/tema-1-la-investigacion-social/fases-de-la-investigacion-social/analisis-e-interpretacion-de-resultados>

tecnica de investigacion social. (12 de octubre de 2017). *tecnica de investigacion social*. Recuperado el junio de 2020, de <https://sites.google.com/site/tecninvestigacionsocial/temas-y-contenidos/tema-1-la-investigacion-social/fases-de-la-investigacion-social/analisis-e-interpretacion-de-resultados>

Torres, A. (6 de mayo de 2020). [.reaxsol.com/](https://www.reaxsol.com/). Recuperado el 2020, de <https://www.reaxsol.com/2020/05/06/propiedades-de-la-espuma-de-poliuretano/>

Web y Empresas. (6 de marzo de 2018). *webyempresas*. Recuperado el mayo de 2020, de <https://www.webyempresas.com/metodologia-de-la-investigacion/>