



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO DE LA MEZCLA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA CANOA DE  
CONCRETO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingenieros Civiles

**AUTORES:** Edwin Patricio Fajardo Sandoval

Esteban Alberto Iguago Olivo

**TUTOR:** Daniel Armando Valverde Castillo

Quito - Ecuador  
2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Edwin Patricio Fajardo Sandoval con documento de identificación N° 1724125388 y Esteban Alberto Iguago Olivo con documento de identificación N° 0503952087; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

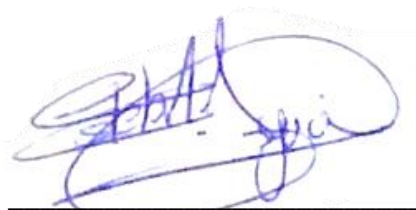
Quito, 16 de febrero del 2023

Atentamente,



Edwin Patricio Fajardo Sandoval

1724125388



Esteban Alberto Iguago Olivo

0503952087

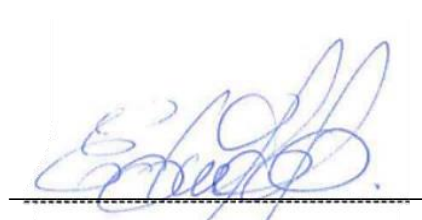
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Edwin Patricio Fajardo Sandoval con documento de identificación N° 1724125388 y Esteban Alberto Iguago Olivo con documento de identificación N° 0503952087; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño de la Mezcla para la elaboración de una Canoa de Concreto”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

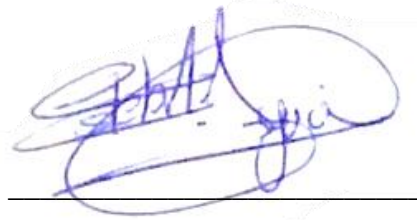
Quito, 16 de febrero del 2023

Atentamente,



Edwin Patricio Fajardo Sandoval

1724125388



Esteban Alberto Iguago Olivo

0503952087

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Daniel Armando Valverde Castillo con documento de identificación N° 1900467869, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE LA MEZCLA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA CANOA DE CONCRETO, realizado por Edwin Patricio Fajardo Sandoval con documento de identificación N° 1724125388 y por Esteban Alberto Iguago Olivo con documento de identificación N° 0503952087, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 16 de febrero del 2023

Atentamente,



Ing. Daniel Armando Valverde Castillo, MSc.

1900467869

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación se lo dedico a Dios, por llenarme de sabiduría, bendiciones y la fuerza necesaria para no desfallecer hasta alcanzar mis metas.

A mi amada esposa, por ser mi amiga, compañera y confidente a lo largo de todos estos años ya que con sus palabras de amor y apoyo ha hecho de este camino universitario un ambiente más llevadero.

A mis incondicionales padres quienes han sido mi apoyo y mi ejemplo para seguir, quienes me han demostrado que con esfuerzo, sacrificio y dedicación todos los sueños se cumplen.

A mis tres hermanas y mi querida sobrina, por siempre estar pendiente de mi con su amor puro, sincero e incondicional.

Este proyecto que refleja el esfuerzo de todos estos años es para cada uno de ustedes mi hermosa familia como recordatorio que nunca es tarde para volver a empezar.

*Edwin Fajardo*

## **DEDICATORIA**

Le dedico el resultado de este trabajo a mis padres, quienes me han permitido con todo su esfuerzo y cariño superar mis límites, mis miedos y mis problemas. Que este escrito represente el largo viaje de dedicación y de estudio para ser esa persona que ustedes soñaron que sea. El camino lo he elegido yo, pero sería imposible atravesarlo si ustedes no me hubieran enseñado a caminar por eso en cada paso están aquí, conmigo, y más ahora en este proyecto, por eso cada logro alcanzado es para ustedes.

A mi abuelo José Guillermo que siempre será mi admiración y ejemplo de superación, sus consejos me han permitido llegar a donde estoy, dejar de ser sencillo para plantearme metas extraordinarias.

A mi novia por ser mi apoyo incondicional y pilar emocional en la realización de mis metas. Si se pudo.

A mis primos Adrián, José Gabriel, Andrea y Sofía por ser ese puntito de motivación extra y desahogo que necesitamos.

A mi compañero de tesis Edwin con quien me he complementado para realizar este proyecto y a mis compañeros Adrián y Edwin que sin su apoyo no hubiera llegado a estas instancias.

A mi familia por su amor incondicional y apoyo este triunfo es suyo también, estaré eternamente agradecido.

*Esteban Iguago*

## **AGRADECIMIENTO**

Un sincero agradecimiento a nuestro tutor Ing. Daniel Valverde por compartir su conocimiento y experiencia con nosotros para poder desarrollar el presente proyecto.

A la empresa Aditec, quienes mostraron su generosidad al donar muestras de aditivos Airbeton y Millenium haciendo posible este proyecto.

A la empresa Defaz Mendoza construcciones por su colaboración con el agregado utilizado en todos los ensayos de laboratorio.

Un sincero agradecimiento a Universidad Politécnica Salesiana, que nos permitió el ingreso y cursar por sus aulas para nuestro proceso formativo, a la Facultad de Ingeniería Civil y a los docentes de los que recibimos su conocimiento.

Agradecemos al personal del Laboratorio de suelos de la EPMMOP, por su buena predisposición y permitimos realizar los ensayos para cumplir con los objetivos de nuestro proyecto.

*Edwin Fajardo & Esteban Iguago*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES Y GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Problema de estudio .....	1
1.2.1 Antecedentes.....	1
1.2.2 Importancia y Alcance.....	2
1.2.3 Delimitación .....	3
1.3 Justificación.....	3
1.4 Grupo objetivo (beneficiarios) .....	4
1.5 Objetivos .....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos .....	4
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Definiciones .....	5
2.1.1 Concreto.....	5
2.1.2 Cemento.....	6
2.1.3 Hormigón Ligero .....	7
2.1.4 Aditivos .....	8
2.1.4.1 Humo de Sílice.....	8
2.1.4.2 Aditivo Inclusor de Aire .....	9
2.1.4.3 Aditivo Reductor de Agua .....	9
2.1.5 Fibra de Polipropileno .....	10
2.1.6 Moldes para Especímenes .....	10
2.1.7 Mortero .....	10
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>11</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>11</b>
3.1 Tipo de investigación .....	11
3.2 Método .....	11
3.3 Técnica de recolección de información.....	12



3.4	Proceso técnico de ingeniería civil.....	12
3.4.1	Generalidades .....	12
3.4.2	Materiales.....	13
3.4.2.1	Herramientas .....	13
3.4.2.2	Equipos .....	13
3.4.2.3	Materiales o Insumos .....	15
3.4.3	Procedimientos de laboratorio .....	17
3.4.4	Discusión de resultados.....	29
3.4.4.1.	Análisis de diseño de mezcla .....	29
3.4.4.2	Diseño de mezcla .....	36
3.4.4.3.	Resistencia a la compresión .....	42
3.4.4.3.1	Resultados obtenidos .....	43
3.4.4.3.2	Resistencia a la compresión a los 7 días .....	45
3.4.4.3.3.	Resistencia a la compresión a los 14 días.....	46
3.4.4.3.4.	Resistencia a la compresión a los 28 días.....	47
3.4.4.3.5.	Comparativa con morteros convencionales.....	48
3.4.4.4.	Optimización de la mejor dosificación .....	51
3.4.4.5.	Densidad de la dosificación de diseño .....	55
3.4.4.6	Módulo de rotura.....	60
3.4.4.6.1.	Resultados obtenidos .....	61
3.4.4.6.2.	Ensayo a flexión a los 7 días .....	63
3.4.4.6.3	Ensayo a flexión a los 14 días .....	65
3.4.4.6.4.	Ensayo a flexión a los 28 días .....	67
3.4.4.7	Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura .....	69
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>74</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>77</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Dosificación adaptada del diseño Apolo.....	31
<b>Tabla 2.</b> Dosificación adaptada del diseño Berkeley. ....	33
<b>Tabla 3.</b> Dosificación adaptada del diseño Incendius.....	35
<b>Tabla 4.</b> Dosificación del diseño tipo D.....	37
<b>Tabla 5.</b> Comparación de diseños tipo D y E.....	39
<b>Tabla 6.</b> Dosificación del diseño tipo E. ....	40
<b>Tabla 7.</b> Resistencia a la compresión a los 7 días de edad.....	44
<b>Tabla 8.</b> Resistencia a la compresión a los 14 días de edad.....	44
<b>Tabla 9.</b> Resistencia a la compresión a los 28 días de edad.....	45
<b>Tabla 10.</b> Resumen resistencia a la compresión promedio a los 7 días. ....	46
<b>Tabla 11.</b> Resumen resistencia a la compresión promedio a los 14 días. ....	47
<b>Tabla 12.</b> Resumen resistencia a la compresión promedio a los 28 días. ....	48
<b>Tabla 13.</b> Resistencia a la compresión promedio de morteros convencionales. ....	49
<b>Tabla 14.</b> Matriz ortogonal para el modelamiento en Minitab. ....	52
<b>Tabla 15.</b> Resumen del modelo.....	52
<b>Tabla 16.</b> Densidad obtenida en especímenes a los 7 días.....	56
<b>Tabla 17.</b> Densidad obtenida en especímenes a los 14 días.....	57
<b>Tabla 18.</b> Densidad obtenida en especímenes a los 28 días.....	58
<b>Tabla 19.</b> Densidad obtenida en muestra 1 de dosificación tipo E. ....	59
<b>Tabla 20.</b> Densidad obtenida en muestra 2 de dosificación tipo E. ....	59
<b>Tabla 21.</b> Densidad obtenida en muestra 3 de dosificación tipo E. ....	60
<b>Tabla 22.</b> Datos de muestra 1 para ensayo a flexión.....	63
<b>Tabla 23.</b> Datos de muestra 2 para ensayo a flexión.....	64
<b>Tabla 24.</b> Datos de muestra 3 para ensayo a flexión.....	65
<b>Tabla 25.</b> Datos de muestra 4 para ensayo a flexión.....	66
<b>Tabla 26.</b> Datos de muestra E5 para ensayo a flexión. ....	67
<b>Tabla 27.</b> Datos de muestra 6 para ensayo a flexión.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Máquina para ensayo de resistencia a la compresión.....	13
<b>Figura 2.</b> Moldes de acero.....	14
<b>Figura 3.</b> Balanza electrónica.....	14
<b>Figura 4.</b> Máquina mezcladora para morteros .....	15
<b>Figura 5.</b> Cantidad necesaria de agregado para cada dosificación .....	18
<b>Figura 6.</b> Cantidad necesaria de aditivo para cada dosificación .....	18
<b>Figura 7.</b> Ejemplo de mortero homogéneo .....	19
<b>Figura 8.</b> Orden de apisonado .....	20
<b>Figura 9.</b> Preparación de la muestra de morteros.....	20
<b>Figura 10.</b> Apisonamiento de las muestras de mortero.....	21
<b>Figura 11.</b> Molde final de mortero completamente lleno .....	22
<b>Figura 12.</b> Molde final de mortero dosificación INCENDIUS.....	22
<b>Figura 13.</b> Molde final de mortero dosificación BERKELEY .....	23
<b>Figura 14.</b> Desencofrado de especímenes de mortero .....	24
<b>Figura 15.</b> Etiquetado de moldes con iniciales según su dosificación.....	24
<b>Figura 16.</b> Moldes sumergidos en agua .....	25
<b>Figura 17.</b> Medida de cada arista del cubo .....	26
<b>Figura 18.</b> Programación de la máquina de ensayo de compresión.....	27
<b>Figura 19.</b> Aplicación de carga en las caras del espécimen.....	27
<b>Figura 20.</b> Ensayo de compresión a especímenes de mortero .....	28
<b>Figura 21.</b> Diseño original Apolo .....	30
<b>Figura 22.</b> Especímenes de mortero.....	32
<b>Figura 23.</b> Especímenes a los 7 días de edad.....	32
<b>Figura 24.</b> Diseño original Berkeley.....	33
<b>Figura 25.</b> Especimen de mortero .....	34
<b>Figura 26.</b> Diseño original Incendius.....	35
<b>Figura 27.</b> Especimen de mortero TIPO D .....	38
<b>Figura 28.</b> Dosificación de mortero TIPO E.....	41
<b>Figura 29.</b> Especimen de mortero TIPO E.....	41
<b>Figura 30.</b> Especimen de mortero TIPO E.....	42

<b>Figura 31.</b> Relación de las resistencias a la compresión de los especímenes a 7, 14 y 28 días de edad con la norma NEC-SE-MP .....	50
<b>Figura 32.</b> Gráfica de probabilidad normal.....	53
<b>Figura 33.</b> Gráfica de superficie de mezcla de Resistencia (MPa). .....	53
<b>Figura 34.</b> Gráfica de contorno de mezcla para resistencia (MPa). .....	54
<b>Figura 35.</b> Gráfica de rastreo de respuesta.....	54
<b>Figura 36.</b> Solución global.....	55
<b>Figura 37.</b> Muestra ensayada a flexión en laboratorio.....	61
<b>Figura 38.</b> Correlación de tipo lineal. ....	70
<b>Figura 39.</b> Correlación de tipo exponencial. ....	71
<b>Figura 40.</b> Correlación de tipo polinómica grado 2. ....	72
<b>Figura 41.</b> Proyección de gráficas en comparación con valores del ACI. ....	73

## RESUMEN

Las competencias de canoas de concreto se han desarrollado en varios países y en Ecuador no es una excepción, la Universidad Politécnica Salesiana debe ser acreedora del prestigio de innovación y desarrollo por lo que el presente proyecto técnico pretende desarrollar el diseño óptimo de una mezcla de hormigón ligero, para concursar de manera exitosa en estos certámenes.

Para lo cual se ha realizado una investigación de los materiales que se encuentren en el mercado ecuatoriano y presenten un buen desempeño para cumplir con una baja densidad, que asegure una masa ligera comparado a hormigones convencionales que si se utilizaran en competencias presentarían un bajo rendimiento.

Para efectuar el diseño y proteger la integridad de los ocupantes de la canoa, el diseño de la mezcla debe presentar cualidades de resistencia a la compresión y flexión debido a los efectos a los que estará sometida.

**Palabras Clave:** Hormigón ligero, diseño de mezclas de concreto, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, fibra, aditivos, Agregado de baja densidad, superplastificante, incluso de aire.

## **ABSTRACT**

Concrete canoe competitions have been developed in several countries and Ecuador is not an exception, the Salesian Polytechnic University must be credited with the prestige of innovation and development, so this technical project aims to develop the optimal design of a light concrete mix to compete successfully in these contests.

In order to develop this project, it is necessary an investigation of the materials found in the Ecuadorian market has been carried out and present a good performance to comply with a low density, which ensures a light mass compared to conventional concretes that would present a low performance if it were used in competitions.

To become true this design and protect the integrity of the occupants of the canoe, the mix design must present qualities of resistance to compression and flexion because they will be exposed to some effects.

**Keywords:** Lightweight concrete, concrete mix design, compressive strength, flexural strength, fiber, admixtures, low-density aggregate, superplasticizer, air entrainer.

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES Y GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

El presente trabajo de titulación nace de la idea de concursar en una competencia de canoas de concreto que es impulsado y reglamentado por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) por sus siglas en ingles. Dichas canoas necesitan de la creación de un diseño de mezcla especial de concreto, que es el título de este proyecto.

El proyecto técnico tiene como objetivo realizar el diseño óptimo de la mezcla para la elaboración de una canoa de concreto.

### **1.2 Problema de estudio**

#### **1.2.1 Antecedentes**

En el Ecuador ya se han realizado competencias con representación de nuestra alma mater en la ciudad de Guayaquil. Los Intrépidos concursantes desafiaron la lógica al permitir a un material comúnmente conocido por ser pesado intentar su flotabilidad al utilizar el principio de Arquímedes, Según Terán, 2014, “Todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje, equivalente al peso del fluido desalojado por el cuerpo”. Esta fuerza de empuje permite que ciertos materiales floten sobre los fluidos.

La dosificación necesaria para el diseño de un concreto ligero se ha desarrollado buscando su resistencia y utilidad en construcción. Las investigaciones para desarrollar un concreto que sea capaz de flotar no son tan exhaustivas y sus necesidades abren una amplia zona de investigación hasta encontrar la dosificación que permita cumplir con los objetivos. Se han utilizado fibras de vidrio como alternativa para mejorar ciertas características como lo explica Baque, 2014, el refuerzo del hormigón con fibra de vidrio ha derivado buenos resultados como el aislamiento

acústico, facilidad de instalación y alivianado. Otros elementos utilizados son las arcillas expandidas, Según, Gómez, 1979 “Se puede afirmar que tanto las experiencias como las aplicaciones prácticas han señalado que el comportamiento de estos hormigones no difiere en ningún aspecto sustancial del de los hormigones de áridos normales”.

### **1.2.2 Importancia y Alcance**

La universidad no cuenta con una participación exitosa en concursos de canoas de concreto por lo que se pretende con este trabajo presentar un diseño de una mezcla que sea lo suficientemente ligera y resistente para participar de una manera competitiva y brindar a la universidad el prestigio como vanguardista en investigación e innovación en concreto ligero.

El diseño de una mezcla de concreto ligera impulsa el estudio de nuevas técnicas o el uso de materiales no convencionales en la construcción, el desarrollo metódico engrandece los conocimientos y la información queda a disposición de la universidad para incentivar a las nuevas generaciones de estudiantes buscar nuevos diseños.

El presente trabajo de investigación promueve la competición entre universidades que cuenten con una facultad de ingeniería civil, para la generación de sus propios diseños, en el cual el principal ganador será el prestigio académico de las universidades del país, generando un ambiente de dedicación y ahínco educativo y de gran importancia y trascendencia de la universidad como pionera en diseño de concretos ligeros.

El alcance del proyecto es la presentación de la dosificación de una mezcla de concreto ligero con los materiales y aditivos presentes en el mercado de la construcción ecuatoriana, además es dar conocer las propiedades que certifiquen este estudio como propio y suficiente para cumplir con las expectativas de un concreto ligero.



La investigación es de gran importancia para los estudiantes de ingeniería que buscan el engrandecimiento de los conocimientos y les permita desenvolverse en el mundo laboral siendo éste un proyecto estandarte a su disposición que enriquezca su oferta como futuros ingenieros y que les facilite enrolarse en proyectos de temática similar.

### **1.2.3 Delimitación**

Este trabajo de investigación se desarrollará mediante ensayos en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur. Los ensayos se llevarán a cabo con base a la aplicación de las normas técnicas NEC y ASTM con lo cual se espera conseguir un concreto resistente apto para ser usado en la elaboración de una canoa, brindando así agilidad y seguridad a sus ocupantes.

### **1.3 Justificación**

El presente proyecto nace de la necesidad de contar con una mezcla de concreto que permita a futuro una destacable representación en concursos de canoas de concreto, los requisitos de estos concursos dificultaron a anteriores representaciones de la universidad cumplir satisfactoriamente con un diseño competitivo.

Los principales beneficiarios de este proyecto son los autores al incrementar sus habilidades en el diseño de mezclas de concreto, familiarizándose con la técnica y práctica en la elaboración de concreto conociendo las fortalezas y debilidades del proceso constructivo. A futuro nuevas generaciones de estudiantes podrán utilizar este diseño como una base para aumentar su abanico de posibilidades en concreto.

Este proyecto es realizable porque se dispone con los materiales necesarios para la creación de la mezcla de concreto ligero; se cuenta con los recursos económicos para conseguir el material;

se dispone del apoyo de la universidad en cuanto al uso del laboratorio de “Ensayo de Materiales”; lo que permitirá que este trabajo de investigación llegue a su mejor término.

Con la finalidad de impulsar el conocimiento y la competencia sana entre investigadores, este trabajo espera llegar a otras universidades fomentando la búsqueda de nuevas alternativas de diseño de concretos entre docentes y alumnos; así como imaginar en un futuro, llevar al mercado una nueva patente de concreto ligero para uso en canoas.

#### **1.4 Grupo objetivo (beneficiarios)**

El presente proyecto técnico beneficiará a los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana ya que con la ayuda de este proyecto podrán contar con diversos ensayos y dosificaciones del concreto, a su vez brindará apoyo y soporte técnico a los distintos docentes y colaboradores en general de la U.P.S. en el ámbito investigativo y tecnológico.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 Objetivo General**

Realizar el diseño de la mezcla de hormigón, a través de ensayos para la elaboración de una canoa de concreto.

##### **1.5.2 Objetivos Específicos**

Determinar una dosificación óptima de los materiales, mediante ensayos en el hormigón para una correcta aplicación en la elaboración de una canoa de concreto.

Determinar la resistencia a la compresión simple del concreto a los 7, 14 y 28 días, mediante carga axial para clasificarlo y así reconocer el de mejor resistencia.

Obtener la densidad final del concreto a través del ensayo de peso unitario para determinar si es un hormigón ligero.

Establecer el módulo de rotura mediante la aplicación del ensayo de resistencia a la flexión para conocer la sobrecarga límite que podrá soportar.

Realizar una correlación de los resultados obtenidos entre los ensayos de compresión y módulo de rotura recomendada por el ACI.

Indicar cuales son las principales ventajas y desventajas de una buena dosificación del concreto para la elaboración de canoas mediante la identificación del diseño de la mezcla más económico, funcional y eficiente.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Definiciones**

##### **2.1.1 Concreto**

El concreto o también llamado hormigón es una mezcla de varios componentes, entre ellos se puede encontrar agregados finos y gruesos como la arena y piedra, conglomerantes, agua y de manera opcional diferentes tipos de aditivos. El principal conglomerante es el cemento, el mismo que al reaccionar de forma química con el agua produce una pasta compacta, dicha masa al endurecerse se asemeja a una piedra. Dentro de esta mezcla existen varias relaciones siendo la más importante la relación agua-cemento, como nos menciona Guevara “En esta relación agua-cemento, la importancia del agua resulta de gran magnitud, ya que ella y su relación con el cemento están altamente ligados a una gran cantidad de propiedades del material final que se obtendrá.” (Guevara, et al, 2011, p. 2). Dicha relación se puede ajustar según las necesidades del proyecto las diferentes solicitaciones que puedan existir, es por esto que se puede modificar o mejorar las propiedades del concreto con la ayuda de los aditivos.

### **2.1.2 Cemento**

Dentro de los componentes del hormigón el conglomerante (cemento) es el material más costoso económicamente. Su fórmula química actúa en contacto con el agua, según Cevallos “Al unir el cemento con agua forman una pasta, misma que llena los vacíos que dejan los agregados, además dicha pasta es la que proporciona la trabajabilidad en su estado fresco, mientras que en su estado endurecido le da al mortero la adherencia necesaria y resistencia requerida.” (Cevallos, Gonzabay, 2020, p. 10). Al ser el conglomerante más costoso existen distintos tipos de cemento con diferentes componentes y aditivos en función del tipo de estructura a construir. Por ejemplo, en Ecuador el cemento Portland es el más comercializado, entre sus componentes más importantes está el yeso y Clinker que es el producto de la cocción de calizas y arcillas.

Para comercializar el cemento en el mercado debe cumplir con la norma vigente NTE INEN 2380 o ASTM C1157. Esta norma se aplica a los siguientes cementos:

- Tipo GU: Uso general
- Tipo HE: Alta resistencia inicial
- Tipo MS: Resistencia moderada a sulfatos
- Tipo HS: Alta resistencia a sulfatos
- Tipo MH: Moderado calor de hidratación
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación

### **2.1.3 Hormigón Ligero**

Se puede hablar de un hormigón ligero cuando a un hormigón convencional conformado de cemento, agua, grava y arena se reduce su densidad mediante diversos procesos de fabricación, según Morales un hormigón alivianado “Posee una densidad de equilibrio entre 1120 y 1920 kg/m<sup>3</sup>, una resistencia a la compresión mínima a los 28 días de 17 MPa y consiste completamente de agregado de peso ligero o una combinación de peso ligero y agregado de densidad normal.” (Morales, et. al, 2018, p. 2). Para conseguir este estado en el hormigón es importante verificar la calidad y el estado del agregado ligero, así como también su densidad de equilibrio.

Según el método de producción se puede encontrar:

- Hormigón de agregado liviano
- Hormigón sin finos
- Hormigón espumoso, aireado o celular

Según su aplicación se puede encontrar:

- Aplicación del hormigón ligero en aislamiento
- Hormigón ligero estructural

El principal uso del hormigón ligero es:

- Aislamiento térmico en cubiertas y en tuberías de agua
- Construcciones en estructuras de marco como tabiques y muros
- Se implementa en algunas estructuras de hormigón armado

#### **2.1.4 Aditivos**

Los aditivos que en la práctica se suelen utilizar en el hormigón son con la finalidad de mejorar o modificar las propiedades del mismo. Existen en el mercado aditivos plastificantes y superplastificantes cada uno de ellos con distintos componentes en función de los requerimientos del proyecto, según Morales “Se emplean para conferir al hormigón fresco un mejor comportamiento en cuanto a trabajabilidad y bombeabilidad, pero también se busca con su uso mejorar significativamente la resistencia y la durabilidad del hormigón final.” (Morales, et. al, 2018, p. 3). Es importante conocer cada componente y su influencia en el hormigón para asegurar el correcto uso de dichos aditivos con el fin de obtener la mezcla óptima con las características deseadas.

##### **2.1.4.1 Humo de Sílice**

Este aditivo es uno de los más importantes al incrementar propiedades como la resistencia al ataque de sulfatos, químicos en agua y suelos agresivos, así como también reduce la permeabilidad del hormigón, según Sika su proveedor autorizado “Es un aditivo en polvo fino, color gris, con base en microsilíce, que permite aumentar las resistencias mecánicas y químicas de hormigones y morteros endurecidos” (Sika, 2020, p. 1). Este aditivo en polvo es muy utilizado gracias a su reacción con la cal libre que le permite crear una estructura densa para disminuir su porosidad.

Su uso en el diseño de la mezcla debe ser tomado en cuenta por su mejora en las propiedades mecánicas y resistencia química, pero además por su compatibilidad con otros aditivos como lo explica (Gonzales, 2016, p.11) “No se conoce incompatibilidad de microsilíce con algún aditivo, más bien algunos aditivos funcionan más eficientes que con otros” al diseñar

una mezcla de hormigón es necesario siempre hacer ensayos a menor escala que ratifiquen esta condición.

#### **2.1.4.2 Aditivo Inclusor de Aire**

Este aditivo le permite al hormigón generar pequeñas burbujas de aire que sirven como lubricante para una mejor trabajabilidad de la mezcla antes del fraguado. Aditec proveedor oficial del producto Airbeton con su ficha técnica nos explica que su inclusor de aire es muy usado “Para mejorar la trabajabilidad de las mezclas, y para producir hormigones de la más alta calidad estructural, tanto en hormigón normal como liviano.” (Aditec, 2015).

#### **2.1.4.3 Aditivo Reductor de Agua**

Dentro del mercado existen distintos tipos de reductores de agua según los requerimientos que tenga el proyecto, uno de los más conocidos es el Millenium II fabricado por Aditec. Millenium es un reductor de alto rango y además un hiperplastificante que como lo indica su proveedor “No promueve la corrosión del acero de refuerzo en el hormigón, no daña el hormigón reforzado o el hormigón vaciado en el sistema de losas y techos de acero galvanizado, produce gran manejabilidad, excelente trabajabilidad, facilita el bombeo, reduce el vibrado, mejora la eficiencia del cemento y proporciona a la mezcla mayor tiempo de trabajabilidad”. (Aditec, 2021, p. 1).

Este aditivo permite al hormigón reducir el agua de la mezcla de concreto en más del 25%, de esta manera es posible tener un ahorro muy considerable en el cemento. También es ideal para tener hormigones de alta fluidez y altas resistencias en todas las edades.

### **2.1.5 Fibra de Polipropileno**

Este tipo de fibra es elaborada con polímeros sintéticos y es muy usada en el medio constructivo con el fin de reforzar hormigones y morteros. Este refuerzo es muy utilizado en la construcción debido a que reduce los agrietamientos durante la contracción previo al fraguado, también es muy utilizado en losas de hormigón, mortero, enlucidos, elementos prefabricados, etc.

Dentro de estas fibras se encuentra en el mercado ecuatoriano el producto SikaFiber, cuya acción es de tipo físico sin alterar el proceso de hidratación del cemento. Según Sika, su fabricante, “Durante la mezcla del hormigón o del mortero, SikaFiber se distribuye aleatoriamente formando una red tridimensional muy uniforme”. (Sika, 2019, p. 1). Gracias a su distribución interna uniforme del producto y en base a los ensayos realizados por su fabricante se conoce que la fibra no interfiere en el asentamiento ni altera la trabajabilidad de la mezcla de concreto.

### **2.1.6 Moldes para Especímenes**

Con la finalidad que las muestras sean confiables y tengan la precisión que se requiere es de vital importancia el uso de la Norma INEN 488 que indica que los moldes de las muestras cúbicas de 50 milímetros de arista al ser metálicos no deben tener más de tres compartimentos perfectamente ajustados con precisión y no separables en más de dos partes. (Ver figura 2).

### **2.1.7 Mortero**

Se define como una mezcla homogénea de características similares al hormigón, pero con la diferencia que el mortero no contiene agregado grueso. Está constituido en su totalidad por cemento, arena o agregado fino, agua y en pocas ocasiones por diferentes aditivos en función de los requerimientos del proyecto.



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo de investigación**

El presente proyecto es experimental debido a que se necesita del ensayo de probetas con la dosificación diseñada de hormigón, Según, Gordillo,2010, “Los fundamentos de la investigación experimental obligan a que el investigador controle las variables, así su validez depende de esa capacidad”. Estas condiciones se adaptan al estudio de investigación por lo que se confirma el tipo es experimental.

Al ser un procedimiento experimental este se guía por medio de normas que garantizan que los resultados sean aceptados en la comunidad académica. Para conocer la influencia de las variables que intervienen en los resultados es necesario concentrarse en su magnitud aumentando o disminuyendo una de las variables para determinar la influencia en la otra variable, según, Alban,2020, “La investigación experimental consiste en someter a un objeto o grupo de individuos en determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen”.

#### **3.2 Método**

El presente trabajo de investigación utiliza el método analítico por su manera de describir los efectos de las variables responsables en el desarrollo, siendo estas cada vez más específicas y centrándose en un elemento exclusivo, como lo explica, Lopera, 2010, “La definición de análisis como la descomposición de un todo en sus elementos constitutivos para proceder a su comprensión y rearticulación”, de acuerdo a, Ballester,1970, “El método analítico no ha dejado, sin embargo, de parecer arbitrario a los ojos de crítico”, las afirmaciones validan el método seleccionado para el trabajo investigativo.

### **3.3 Técnica de recolección de información**

Una de las técnicas es la observación de resultados pues se necesita llevar un registro de los datos obtenidos en los ensayos para posteriormente analizarlos y conocer su comportamiento y características necesarias para la realización del proyecto. Como menciona Anguera en su libro, esta técnica “tiene la capacidad de describir y explicar el comportamiento, al haber obtenido datos adecuados y fiables correspondientes a conductas, eventos y/o situaciones perfectamente identificadas e insertas en un contexto teórico”. (Anguera, 1991).

Al diseñar una mezcla de concreto ligero la investigación se basa en normas e investigaciones similares que busquen un diseño resistente pero que cumpla con los requisitos necesarios para que una canoa flote y se mantenga a flote durante una competencia, esta técnica da a conocer de manera general el problema y posibles soluciones. Se afirma que otra técnica de recolección es documental por la gran cantidad de bibliografía necesaria.

### **3.4 Proceso técnico de ingeniería civil**

#### **3.4.1 Generalidades**

Dentro del procedimiento que se debe llevar a cabo para la elaboración de una canoa de concreto es el determinar una dosificación óptima de cada uno de los materiales a ser utilizados en la mezcla, proceso que llega a cumplirse mediante una serie de ensayos en el hormigón como por ejemplo el método de la dosificación basado en la resistencia a la compresión. Dentro de esta clasificación tenemos el método ACI para concreto convencional que es el más conocido y utilizado, con ayuda del cono de Abrams se mide la consistencia del concreto fresco que posteriormente cumplirá con los requisitos mínimos de la norma NTE INEN 1578.

## 3.4.2 Materiales

### 3.4.2.1 Herramientas

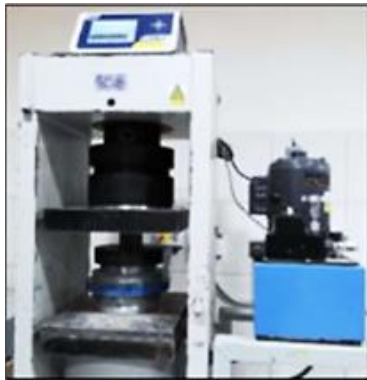
Dentro de los materiales más esenciales existen: calibrador, regla metálica, cuchara tipo pala, bandejas rectangulares y circulares, pala pequeña con hoja de acero.

### 3.4.2.2 Equipos

Para la realización del proyecto se cuenta con los siguientes equipos de laboratorio: Máquina de ensayo de resistencia a la compresión, máquina mezcladora para morteros, moldes de acero para especímenes, apisonador de longitud conveniente de acero o madera, balanza electrónica de las siguientes características: capacidad 6000 gramos, precisión árido fino  $\pm 0.1$  gramo, precisión árido grueso  $\pm 0.5$  gramos.

**Figura 1.**

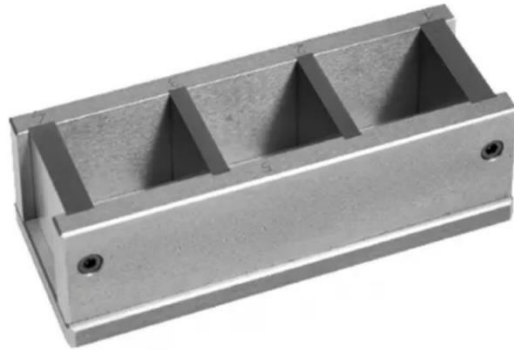
*Máquina para ensayo de resistencia a la compresión*



*Nota.* Se presenta la máquina que será utilizada para determina la resistencia máxima de los especímenes mediante el ensayo de compresión. Elaborado por: Los autores.

**Figura 2.**

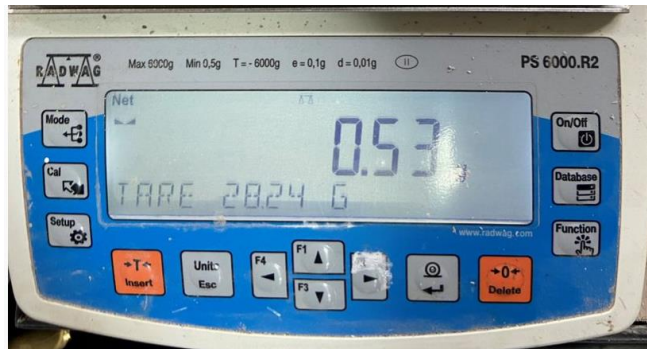
*Moldes de acero*



*Nota.* Se presenta el modelo de moldes que serán utilizados para cada dosificación a elaborar y ensayar. Elaborado por: Los autores.

**Figura 3.**

*Balanza electrónica*



*Nota.* Se presenta la precisión y capacidad de la balanza electrónica a utilizar. Elaborado por: Los autores.

#### **Figura 4.**

##### *Máquina mezcladora para morteros*



*Nota.* Se presenta la máquina que reemplazará la acción de mezclar manualmente, haciendo la mezcla más homogénea en menor tiempo. Elaborado por: Los autores.

#### **3.4.2.3 Materiales o Insumos**

Entre los materiales que se requieren para el desarrollo de una mezcla concreto están los aditivos que por sus propiedades le permiten al hormigón ser más resistente, mejorar su trabajabilidad, aumentar la resistencia y reducir la permeabilidad del concreto. Para cumplir con estas características se trabajará con un aditivo Hiperplastificante – Reductor de agua llamado Millenium II que en el mercado ecuatoriano lo fabrica y distribuye la empresa Aditec, así como también otro aditivo de la misma empresa llamado Airbeton que es un inclusor de Aire.

Plastificante: Es necesario para asegurar la trabajabilidad del hormigón, al ser su propósito una canoa de concreto la forma final no será irregular por lo que su manejo y colocación debe ser de forma plástica para que se garantice su forma.

Reductor de agua: Es un aditivo que ayuda a aumentar la resistencia del hormigón, es un economizador de cemento para la mezcla contenga menor cantidad de material haciéndolo más ligero pero que cumpla con las características de resistencia y además haciendo de la mezcla más impermeable que para los objetivos establecidos es una ventaja muy importante.

El tamaño del agregado grueso por ningún motivo deberá ser mayor que el espesor de la canoa (2cm a 3,5cm). Se sugiere el uso de puzolana como árido grueso por su baja densidad que le aportaría a la mezcla una disminución representativa de su peso específico con respecto al de una mezcla de concreto convencional, se optará por cumplir las recomendaciones de tamaño de agregado grueso en el diseño de una mezcla de concreto convencional NTE INEN 872:2011 ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS. “El árido grueso debe consistir en grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de altos hornos enfriada al aire u hormigón de cemento hidráulico triturado”.

Como otro material fundamental está el cemento, para el desarrollo de este proyecto técnico se utilizará el cemento tipo Portland que en el país se encuentra como cemento Premium tipo HE que es un cemento hidráulico de alta resistencia fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380 que equivale a la norma ASTM 1157.

Para el caso del agregado fino en los morteros de agregado liviano se utilizan agregados de baja densidad ya sea arcilla o como en este caso piedra pómez volcánica triturada que proviene de Latacunga que es un agregado de peso ligero (LWA) por sus siglas en inglés. De esta manera será correcta la estimación de acercarse a un mortero ligero.

### **3.4.3 Procedimientos de laboratorio**

Para proceder con los ensayos de laboratorio correspondientes a cada dosificación se recomienda fabricar de dos a tres especímenes para cada edad a ensayar según la norma NTE INEN 844 “CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA.” Para este caso se procede a elaborar dos especímenes para cada edad (7,14 y 28 días) con lo que se obtiene seis especímenes en total para ser ensayados en cada dosificación.

Se coloca la cantidad necesaria de cemento, arena, agua, aditivos y fibra de acuerdo con las diferentes dosificaciones planteadas. Estos materiales deben ser llevados a la mezcladora de morteros para obtener una masa trabajable y homogénea, para conseguirlo primero se mezcla el agregado fino con el cemento, después se colocan las fibras, a continuación, se añade el 50% de agua, se permite que los materiales se mezclen correctamente y para finalizar se coloca el 50% restante de agua mezclada con los aditivos, antes de detener la mezcladora es importante verificar que la mezcla sea totalmente homogénea para proceder al vaciado de los moldes.

**Figura 5.**

*Cantidad necesaria de agregado para cada dosificación*



*Nota.* Se presenta la correcta separación de la cantidad exacta de agregado fino y cemento con ayuda de la balanza electrónica para las diferentes dosificaciones. Elaborado por: Los autores.

**Figura 6.**

*Cantidad necesaria de aditivo para cada dosificación*



*Nota.* Se presenta la correcta separación de la cantidad exacta de aditivo con ayuda de la balanza electrónica para las diferentes dosificaciones. Elaborado por: Los autores.



**Figura 7.**

*Ejemplo de mortero homogéneo*

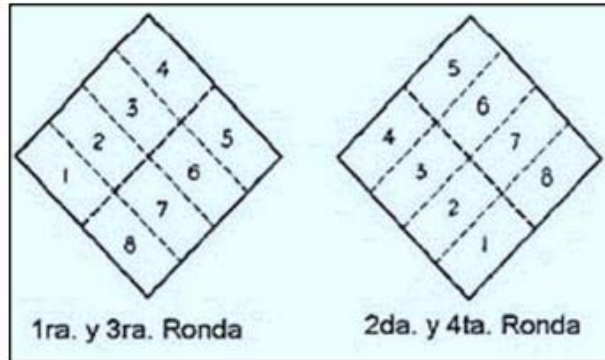


*Nota.* Se presenta la correcta mezcla para obtener un mortero homogéneo. Elaborado por:  
Los autores.

Al iniciar el llenado de los moldes se toma en cuenta que debe comenzar dentro de los 2 minutos y 30 segundos después de haber concluido el mezclado. Para el vaciado de la mezcla siguiendo la norma INEN 488 se procede a llenar los especímenes en dos capas, primero se llenan todos los moldes hasta aproximadamente la mitad de la altura (25mm), a continuación, se apisona 32 veces cada molde repartido en 4 rondas, cada ronda debe ser perpendicular a la anterior.

**Figura 8.**

*Orden de apisonado*



*Nota.* Se presenta el correcto apisonamiento al moldear los especímenes de ensayo. Fuente:

INEN 488, 2009, p.6.

**Figura 9.**

*Preparación de la muestra de morteros*



*Nota.* Se presenta el relleno de los moldes de mortero a la mitad de su altura (25mm).

Elaborado por: Los autores.

**Figura 10.**

*Apisonamiento de las muestras de mortero*

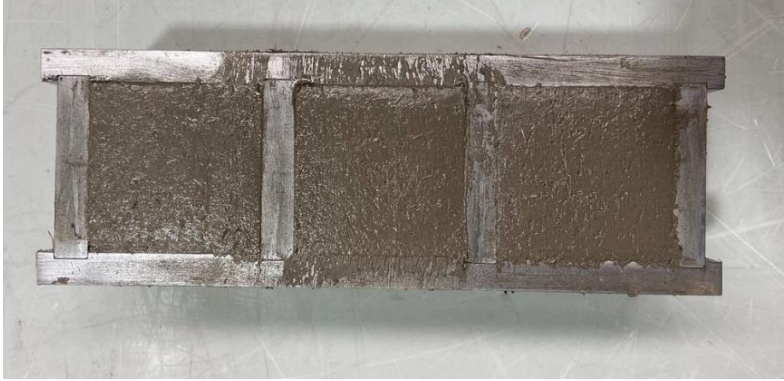


*Nota.* Se presenta el ejemplo del apisonamiento en los especímenes de ensayo. Elaborado por: Los autores.

Después de apisonar la primera capa se debe llenar completamente todos los moldes y repetir el apisonamiento tal como la primera capa, al finalizar el mortero debe sobresalir ligeramente sobre el borde de los moldes para poder alisar y nivelar los cubos con ayuda de una espátula.

**Figura 11.**

*Molde final de mortero completamente lleno*



*Nota.* Se presenta el correcto alisado y nivelado de los especímenes con ayuda de una espátula. Elaborado por: Los autores.

**Figura 12.**

*Molde final de mortero dosificación INCENDIUS*



*Nota.* Se presentan los especímenes terminados que corresponden a la dosificación INCENDIUS. Elaborado por: Los autores.

**Figura 13.**

*Molde final de mortero dosificación BERKELEY*



*Nota.* Se presentan los especímenes terminados que corresponden a la dosificación BERKELEY. Elaborado por: Los autores.

Continuando con la norma INEN 488 menciona que al pasar 24 horas debemos desencofrar los especímenes para etiquetarlos con iniciales y así diferenciarlos entre las diferentes dosificaciones empleadas y se procede a su respectivo curado, sumergir todos los especímenes completamente en agua.

**Figura 14.**

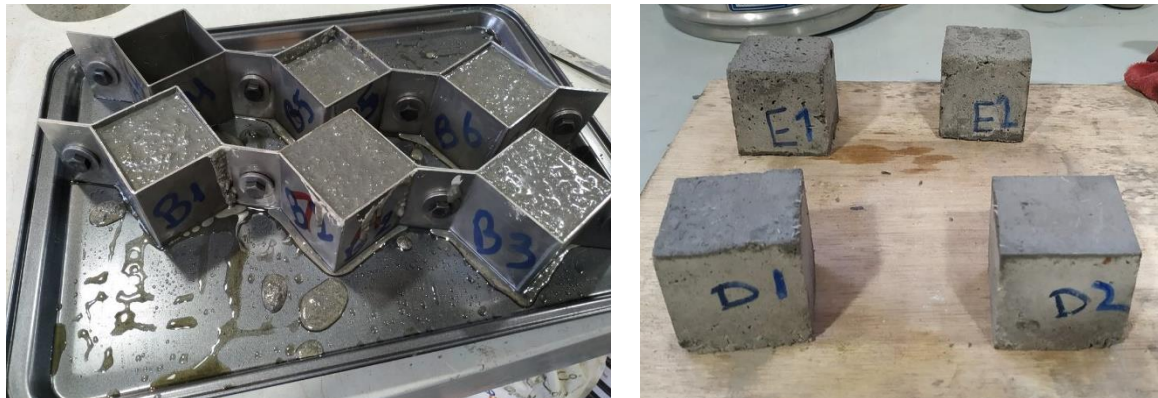
*Desenfofrado de especímenes de mortero*



*Nota.* Se presentan los especímenes desenfofrados. Elaborado por: Los autores.

**Figura 15.**

*Etiquetado de moldes con iniciales según su dosificación*



*Nota.* Se presentan los especímenes etiquetados con el fin de no ser confundidos con otras dosificaciones. Elaborado por: Los autores.

**Figura 16.**

*Moldes sumergidos en agua*



*Nota.* Se presentan los especímenes desmoldados y curado de los moldes hasta la edad de su ensayo. Elaborado por: Los autores.

Después de elaborar los especímenes y una vez iniciado el proceso de curado se procede a determinar la característica mecánica principal del concreto que es la resistencia a la compresión simple para cada edad (7, 14 y 28 días) y para cada dosificación, por lo general se la expresa en términos de esfuerzo ya que es la capacidad que tiene el concreto para soportar una carga por unidad de área. Existe un método establecido por la norma técnica ecuatoriana 1573 la cual menciona que “El método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes moldeados o núcleos de hormigón de cemento hidráulico a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del espécimen.” (NTE INEN 1573, 2010, p. 2). Este esfuerzo es un dato importante ya que permite clasificar los especímenes según su resistencia a la compresión simple a los 7, 14 y 28 días.

Se toma las medidas de todas las aristas del cubo para los cálculos pertinentes a futuro, así como también su peso y delicadamente se coloca cada muestra en la máquina de ensayo previamente seca y sin granos de arena en ninguna de sus caras para que la carga aplicada en sus dos caras sea uniforme. Se recomienda aplicar una velocidad de carga que esté dentro del rango de 0.9 y 1.8 (KN/s), se toma una media central a la recomendada que será 1.35 KN/s.

**Figura 17.**

*Medida de cada arista del cubo*



*Nota.* Se presenta la medición de las aristas de los especímenes para el cálculo del área promedio. Elaborado por: Los autores.



**Figura 18.**

*Programación de la máquina de ensayo de compresión*



*Nota.* Se presenta el ejemplo de configuración inicial de la máquina del ensayo de compresión. Elaborado por: Los autores.

**Figura 19.**

*Aplicación de carga en las caras del espécimen*



*Nota.* Se presentan los especímenes en su plano de falla después de la aplicación de la carga uniforme en las dos caras. Elaborado por: Los autores.

## Figura 20.

### *Ensayo de compresión a especímenes de mortero*



*Nota.* Se presentan los especímenes en posición para ser ensayados en la máquina.

Elaborado por: Los autores.

Al ensayar las muestras con el fin de determinar si la mezcla es la óptima para la canoa de concreto se procede a realizar el ensayo del peso unitario mediante el cual se puede obtener la densidad final del espécimen y así determinar si es un hormigón ligero (1120 - 1920 kg/m<sup>3</sup>). Este ensayo se realiza siguiendo la norma NTE INEN 1579, 2013. En el que se especifica que para obtener la densidad una vez determinada y compactada dentro de un recipiente la masa del hormigón se relaciona para el volumen del mismo y que el método de compactación se elige en función de la consistencia del hormigón.

El módulo de rotura se lo puede expresar como la resistencia a la flexión de los especímenes de hormigón preparado y curados de acuerdo con las normas ASTM C 42, ASTM C 31 o ASTM C 192, para este procedimiento se deberá cumplir con las dimensiones, preparación y condiciones de humedad y curado previstas por la norma ecuatoriana NTE INEN 2554, 2011, para lo cual el

espécimen se debe aplicar una carga continua, sin impacto y guardando una velocidad constante. Al llevar el registro de los resultados se deberá incluir la información necesaria para la realización de los cálculos.

#### **3.4.4 Discusión de resultados**

Después de realizar los ensayos de compresión y módulo de rotura se realizará una correlación de los resultados obtenidos recomendada por el ACI.

Gracias a la recolección de resultados se procede a comparar cuál de los diseños es el óptimo para cumplir con los objetivos propuestos en el que se tomaran en cuenta los factores económicos funcionales y eficientes de la mezcla, para ellos se los compara en tablas o gráficos que expresen con facilidad su rendimiento y agilite el proceso en el momento de decidir por un diseño u otro. De esta manera identificar las ventajas y desventajas de cada uno de los diseños comparados.

##### **3.4.4.1. Análisis de diseño de mezcla**

Para encontrar la dosificación que cumple con los propósitos y objetivos propuestos se ha investigado y usado como punto de partida tres diseños de mezcla utilizados en competencias de canoas de concreto en Estados Unidos siguiendo las normativas del ACE y observar su comportamiento con materiales que se dispone en la región. Dentro de la investigación realizada se ha decidido encontrar las equivalencias de los aditivos, materiales y herramientas necesarias para desarrollar el diseño cumpliendo con todos los requisitos y normas de los ensayos a compresión en morteros y módulo de rotura, obteniendo la siguiente retroalimentación de los diseños estudiados.

## Diseño Apolo:

Este diseño nace en la Universidad de Arizona que participó con su grupo de estudiantes en el año 2021 con la canoa de nombre “Apolo”.

**Figura 21.**

*Diseño original Apolo*

APOLLO MIX						
Materials	Percentage, % (by volume)	Percentage % (by weight)	Density (lb/cu ft)	Volume per Batch (cu ft)	Weight per Batch (lbs)	Weight (g)
Cements						
OPC	4.9002	15.6%	196.6	1.3	260.1	117960.5
Slag	4.4022	12.9%	181.1	1.2	215.2	97610.6
Silica Fume	1.1254	2.5%	137.4	0.3	41.7	18931.4
Aggregates						
Poraver .1-.5	9.3173	5.49%	36.4000	2.52	91.57	41535.69
Poraver .5-1	10.029	4.46%	27.5000	2.71	74.47	33778.35
Poraver 2-4	20.686	6.23%	18.6000	5.59	103.89	47122.21
UTECSF SSD	14.3420	26.5%	114.0000	3.87	441.45	200236.64
Rubber Chips	2.8883	3.04%	65.0000	0.78	50.69	22992.43
Fillers						
S22 Glass Bub.	11.9118	2.65%	13.72800	3.2	44.2	20026.9
Fibers						
13mm fibers	0.1179	0.15%	79.2800	0.03	2.52	1144.96
Admixtures						
ADVA	0.7038	0.76%	66.5800	0.19	12.65	5738.44
VMAR	0.7632	0.79%	63.5800	0.21	13.10	5942.44
Eclipse	0.1376	0.13%	57.6000	0.04	2.14	970.97
Water						
Water	18.6745	18.86%	62.4000	5.04	314.63	142712.52
Total						
Total	100.0	1.000	61.787	27.0000	1668.2483	

*Nota.* Se presenta el diseño original Apolo de la Universidad de Arizona, Estados Unidos.

Fuente: Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE).

**Tabla 1.***Dosificación adaptada del diseño Apolo.*

<b>DOSIFICACIÓN APOLO</b>									
	INICIAL	SIKA FUME	SIKA FIBER	AIRBETON	MILLENIUM	AGRE G. FINO	CEMENTO	AGUA	Relación A/C
<b>%</b>	A	2,50%	0,15%	0,00%	1,68%	48,31 %	28,50%	18,86%	0,66
<b>gr</b>	A	25,00	1,50	0,00	16,80	483,10	285,00	188,60	0,66

*Nota.* Se presenta el cuadro de dosificación con los diferentes componentes y sus respectivas cantidades adaptadas al medio ecuatoriano. Elaborado por: Los autores.

Durante la mezcla se observó que el mortero presenta una buena consistencia, granular, bastante fluida y manejable, como se muestra en la imagen 21, al momento de desmoldar las probetas presentaban desgaste en la parte superior que se encontraba sin recubrimiento por el molde y a los 7 días para su ensayo a compresión la erosión desgasto un 10% de las probetas, imagen 22.

**Figura 22.**

*Especímenes de mortero*



*Nota.* Se presentan los especímenes al momento del vaciado en los moldes. Elaborado por:  
Los autores.

**Figura 23.**

*Especímenes a los 7 días de edad*



*Nota.* Se presentan los especímenes desmoldados a sus 7 días de edad. Elaborado por: Los  
autores.

**Diseño Berkeley:**

Este diseño nace en la Universidad de California, Berkeley que participó con su grupo de estudiantes en el año 2021 con la canoa de nombre “The Last Bearbender”.

**Figura 24.**

*Diseño original Berkeley*

CEMENTITIOUS MATERIALS						
Component	Specific Gravity	Volume	Amount of CM			
Cement	3.15	1.269 ft <sup>3</sup>	249.4	lb/yd <sup>3</sup>	Total cm (includes c)	
Slag	2.90	.81 ft <sup>3</sup>	146.7	lb/yd <sup>3</sup>	438 lb/yd <sup>3</sup>	
Silica Fume	2.20	.305 ft <sup>3</sup>	41.9	lb/yd <sup>3</sup>	c/cm ratio, by mass	
			1.56			
FIBERS						
Component	Specific Gravity	Volume	Amount of Fibers			
13mm PVA Fibers	1.27	.032 ft <sup>3</sup>	2.52	lb/yd <sup>3</sup>	Total Amount of Fibers	
			2.52 lb/yd <sup>3</sup>			
AGGREGATES						
Aggregates	Abs (%)	SG <sub>SSD</sub>	SG <sub>SSD</sub>	Base Quantity, W'		Volume, V <sub>req SSD</sub>
				W' <sub>SSD</sub>	W' <sub>SSD</sub>	
Riverlite 3/8	16.8 %	1.16	1.36	790.91	927.37	10.90 ft <sup>3</sup>
Foamed Glass 2-4	24.7 %	.19	.237	130.7	163.37	10.92 ft <sup>3</sup>
LIQUID ADMIXTURES						
Admixture	lb/ US gal	Dosage (fl oz/cwt)	% Solids	Amount of Water in Admixture		
ADVA 530	8.9	26.6	30.6 %	5.62	lb/yd <sup>3</sup>	Total Water from Liquid Admixtures, ΣW <sub>adm</sub>
YMAR 3	8.5	29.5	.09 %	8.5	lb/yd <sup>3</sup>	
Eclipse 4500	7.7	8.2	53.82 %	.93	lb/yd <sup>3</sup>	
			15.07 lb/yd <sup>3</sup>			
WATER						
			Amount		Volume	
Water, w <sub>c</sub> [=(ΣW <sub>agg</sub> + W <sub>adm</sub> + W <sub>batch</sub> )]			264.5		4.24 ft <sup>3</sup>	
Total Free Water from All Aggregates, ΣW <sub>free</sub>			w/c ratio, by mass		92.752 lb/yd <sup>3</sup>	
Total Water from All Admixtures, ΣW <sub>adm</sub>			1.06		15.07 lb/yd <sup>3</sup>	
Batch Water, W <sub>batch</sub>			w/cm ratio, by mass		156.08 lb/yd <sup>3</sup>	
			.60			
DENSITIES, AIR CONTENT, RATIOS, AND SLUMP						
Values for 1 cy of concrete	cm	Fibers	Aggregate (SSD)	Solids, S <sub>sol</sub>	Water, w	Total
Mass, M	438 lb	2.52 lb	1090.65 lb	3.74 lb	156.09 lb	ΣM: 1691.6 lb
Absolute Volume, V'	2.384 ft <sup>3</sup>	.032 ft <sup>3</sup>	21.78 ft <sup>3</sup>	.253 ft <sup>3</sup>	2.51 ft <sup>3</sup>	ΣV': 26.94 ft <sup>3</sup>
Theoretical Density, T, (=ΣM / ΣV')	63.03 lb/ft <sup>3</sup>	Air Content, Air, [(T - D) / T x 100%]				5 %
Anticipated Density, D	59.7 lb/ft <sup>3</sup>	Air Content, Air, [(27 - ΣV') / 27 x 100%]				.22 %
Total Aggregate Ratio (=V <sub>agg,SSD</sub> / 27)	80.7%	Slump, Slump flow, Spread (as applicable)				1.25 in.
C330 + RCA Ratio (=V <sub>C330+RCA</sub> / V <sub>agg</sub> )	50 %					

*Nota.* Se presenta el diseño original Berkeley de la Universidad de California, Estados Unidos. Fuente: Asociación Americana de Ingenieros Civiles (ASCE).

**Tabla 2.**

*Dosificación adaptada del diseño Berkeley.*

DOSIFICACIÓN BERKELEY									
	INICIAL	SIKA FUME	SIKA FIBER	AIRBETON	MILLENIUM	AGRE G. FINO	CEMENT O	AGUA	Relación A/C
%	B	2,23%	0,13%	0,00%	1,60%	58,26%	21,08%	16,68%	0,79
gr	B	24,55	1,48	0,00	17,66	641,28	232,06	183,6	0,79

*Nota.* Se presenta el cuadro de dosificación con los diferentes componentes y sus respectivas cantidades adaptadas al medio ecuatoriano. Elaborado por: Los autores.

Como observaciones para el diseño se encuentra que el mortero es muy seco, su apariencia es la más parecida a un mortero convencional y como inconveniente posee una difícil trabajabilidad, descartando este diseño por su incompatibilidad con los objetivos. Imagen 23.

**Figura 25.**

*Espécimen de mortero*



*Nota.* Se presenta un mortero desencofrado para respectivas observaciones. Elaborado por:  
Los autores.

**Diseño Incendius:**

Este diseño nace en la Universidad de Nevada, Reno que participó con su grupo de estudiantes en el año 2017 con la canoa de nombre “Incendium”.



**Figura 26.**

*Diseño original Incendius*

Cementitious Materials								
Component	Specific Gravity	Volume (ft <sup>3</sup> )	Amount of CM (mass/volume) (lb/yd <sup>3</sup> )					
Portland Cement, Type I, (White)	3.15	0.965	189.6					
PCAS-140	2.6	1.948	316.0					
Slag Cement	2.6	0.390	63.2					
Total Amount of cementitious materials 368.8 lb/yd <sup>3</sup> c/cm ratio 0.33								
Fibers								
Component	Specific Gravity	Volume (ft <sup>3</sup> )	Amount of Fibers (mass/volume) (lb/yd <sup>3</sup> )					
Nycon PVA Fibers (3 mm)	1.3	0.117	9.32					
Nycon PVA Fibers (12 mm)	1.3	0.117	9.32					
Total Amount of Fibers 19.04 lb/yd <sup>3</sup>								
Aggregates								
Aggregates	ASTM C330*	Ab <sub>s</sub> (%)	MC <sub>ab</sub> (%)	SG <sub>SSD</sub>	Base Quantity (lb/yd <sup>3</sup> )		Volume <sub>SSD</sub> (ft <sup>3</sup> )	Batch Quantity (at MC <sub>ab</sub> ) (lb/yd <sup>3</sup> )
Q-Cel® 6019S		2	0	0.14	6.4	6.5	0.745	6.4
Poraver® Siscorspheres 0.25-0.5 mm		4	0	0.75	33.5	34.9	0.745	33.5
Poraver® Siscorspheres 0.5-1.0 mm		4	0	0.56	125.2	130.2	3.726	125.2
Elemix™		6	0	0.04	5.3	5.6	2.236	5.3
Poraver® Siscorspheres 2-4 mm		4	0	0.3	67.1	69.8	3.726	67.1
ASTM C 330 Sand #6	Y	16	0	1.71	233.2	270.5	2.535	233.2
ASTM C 330 Sand #4	Y	14	0	1.69	110.2	125.9	1.193	110.2
Admixtures								
Admixture	lb/gal	Dosage (fl.oz/cwt)	% Solids	Amount of Water in Admixture (lb/yd <sup>3</sup> )				
ADVA® CAST 575 (HRWR)	8.9	43	40	10.71				
Daravair® AT30 (AEA)	8.3	14	5	4.93				
V-MAR® F100 (YMA)	8.4	35	4	12.63				
Hycrete X1002 (PRAH)	8.8	41	15	13.47				
Total Water from Admixtures, ΣW <sub>adm</sub> 41.76 lb/yd <sup>3</sup>								
Solids (latex, dyes and powdered admixtures)								
Component	Specific Gravity	Volume (ft <sup>3</sup> )	Amount (mass/volume) (lb/yd <sup>3</sup> )					
Color Pigment**	1.270	0.066	5.23					
Hydrated Lime Type S	2.600	0.390	63.21					
Total Solids from Admixtures 68.44 lb/yd <sup>3</sup>								
Water								
				Amount (mass/volume) (lb/yd <sup>3</sup> )			Volume (ft <sup>3</sup> )	
Water, lb/yd <sup>3</sup>				w:			227.53	
Total Free Water from All Aggregates, lb/yd <sup>3</sup>				ΣW <sub>agr</sub> :			-62.41	
Total Water from All Admixtures, lb/yd <sup>3</sup>				ΣW <sub>adm</sub> :			41.76	
Batch Water, lb/yd <sup>3</sup>				W <sub>batch</sub> :			248.20	

*Nota.* Se presenta el diseño original Incendius de la Universidad de Nevada, Estados Unidos. Fuente: Asociación Americana de Ingenieros Civiles (ASCE).

**Tabla 3.**

*Dosificación adaptada del diseño Incendius.*

DOSIFICACIÓN INCENDIUS									
	INICI AL	SIKA FUME	SIKA FIBER	AIRBETON	MILLENIUM	AGREG. FINO	CEMENT O	AGUA	Relación A/C
<b>%</b>	I	0,00 %	1,166 %	0,298 %	1,427 %	46,033 %	33,380 %	17,697 %	0,53
<b>gr</b>	I	0,000	11,660	2,980	14,270	460,330	333,800	176,970	0,53

*Nota.* Se presenta el cuadro de dosificación con los diferentes componentes y sus respectivas cantidades adaptadas al medio ecuatoriano. Elaborado por: Los autores.

El incremento del aditivo inclusor de aire marca un claro comportamiento de la mezcla, teniendo una textura porosa y esponjada, llena de burbujas de aire, aumentando su volumen de forma radical comparado con las anteriores dosificaciones estudiadas. La fibra utilizada es dispersa por toda la superficie visible en el molde, su trabajabilidad se vuelve un problema al ser tan esponjoso de difícil compactación, siendo está a simple vista la más débil en resistencia a compresión de los diseños estudiados.

#### **3.4.4.2 Diseño de mezcla**

En base al comportamiento de los diseños propuestos se puede utilizar las virtudes de cada una de las mezclas para diseñar una mezcla que cumpla con los objetivos siendo uno de los más importantes su ligereza sin olvidar que esta debería cumplir con resistencia a la compresión cercana a la de un mortero estándar de agregado fino y cemento.

Se ha tomado las propiedades impermeables que ofrece el humo de sílice necesario para que el diseño de la mezcla pueda ser utilizado como una canoa. Los agregados de baja densidad permiten disminuir la masa del mortero que es un objetivo para tomar en cuenta en el desarrollo del diseño. En todos los casos se ha trabajado con un aditivo superplastificante, que se ha probado en varias dosificaciones para conocer mejor su comportamiento y aumentar su resistencia a edades tempranas.

De esta manera se diseña un primer borrador que presenta sus características y se acerca a un diseño final que cumple con los requerimientos de este trabajo de titulación. Se utiliza como base de partida la relación agua-cemento para morteros usando aditivos inclusores de aire recomendada de 0.46 (INEN 488, 2009), al cual se disminuye 1% para evitar la reactividad mostrada en el diseño INCENDIUS y asegurar una buena trabajabilidad del mortero.

Se decide aumentar el porcentaje de agregado fino debido a la falta de humo de sílice, la dosificación para el aditivo inclusor de aire es 0.02% más sobre lo recomendado por el fabricante que va de 0.03% a 0.10% (Aditec, 2015) para potenciar su característica de incluir aire dentro de la mezcla y así disminuir su densidad. La fibra en el diseño se tomó en cuenta pensando en su baja densidad y características de reducción de fisuras por retracción y aumento del índice de tenacidad.

Se obtiene la siguiente dosificación:

**Tabla 4.**  
*Dosificación del diseño tipo D.*

<b>DOSIFICACIÓN "D"</b>									
	INICIAL	SIKA FUME	SIKA FIBER	AIRBETO N	MILLENIU M	AGREG. FINO	CEMENT O	AGUA	Relación A/C
<b>%</b>	D	0,000	1,113	0,047%	0,516%	43,950%	37,478%	16,896	0,45
		%	%					%	
<b>gr</b>	D	0,000	11,130	0,470	5,160	439,500	374,780	168,960	0,45

*Nota.* Se presenta el cuadro de dosificación con los diferentes componentes y sus respectivas cantidades. Elaborado por: Los autores.

Este diseño presenta buena consistencia, buena trabajabilidad, pero no cuenta con la cantidad de vacíos deseada siendo un mortero pesado y consecuentemente obteniendo una densidad mayor a la esperada. Por dicha razón se decide plantear una nueva dosificación.

**Figura 27.**

*Espécimen de mortero TIPO D*



*Nota.* Se presenta un mortero desencofrado TIPO D para respectivas observaciones.

Elaborado por: Los autores.

El diseño final de la mezcla para su uso en canoas de concreto se desarrolló con los materiales que se dispone en Ecuador con las características presentadas para el agregado fino, aditivos y su comportamiento con el cemento de uso general Portland tipo GU, utilizado comúnmente en obras de construcción.

**Tabla 5.**

*Comparación de diseños tipo D y E.*

COMPONENTE	DISEÑOS	
	D	E
SIKA FUME	0,00 %	0,87 %
SIKA FIBER	1,12 %	0,87 %
AIRBETON	0,05 %	0,07 %
MILLENIUM	0,52 %	0,70 %
AGREG. FINO	43,95 %	43,09 %
CEMENTO	37,48 %	36,75 %
AGUA	16,90 %	17,64 %

*Nota.* Se presenta el cuadro de comparación de los componentes de los diseños tipo D y E.

Elaborado por: Los autores.

Para este diseño se añadió a la dosificación “D” el uso de Humo de sílice para incrementar sus propiedades impermeables, se disminuyó el uso de fibra dado que en los ensayos anteriores no se produjo mayor cambio en sus cualidades esperadas. También se aumentó el uso de aditivo inclusor de aire para dar al mortero una menor densidad y mayor trabajabilidad pasando de 0.05 % al 0.07 %, el superplastificante aumento en la dosificación de 0.52 % a 0.70 % para aprovechar sus cualidades de incremento de resistencia a edades tempranas y mayor trabajabilidad con menor cantidad de cemento en la mezcla, obteniendo la siguiente dosificación:

**Tabla 6.***Dosificación del diseño tipo E.*

<b>DOSIFICACIÓN "E"</b>									
	INICIA	SIKA	SIKA	AIRBETO	MILLENIU	AGREG	CEMENTO	AGUA	Relación
	L	FUME	FIBER	N	M	. FINO			A/C
<b>%</b>	E	0,873	0,873%	0,072%	0,698%	43,095%	36,749%	17,640%	0,48
		%							
<b>gr</b>	E	8,730	8,730	0,720	6,980	430,950	367,490	176,400	0,48

*Nota.* Se presenta el cuadro de dosificación con los diferentes componentes y sus respectivas cantidades. Elaborado por: Los autores.

La mezcla presenta buena consistencia, su trabajabilidad es buena con similitud esponjosa como se puede observar en la figura 25, posee una mayor facilidad de compactación, figura 26, se presentan burbujas dispersas en la mezcla que ayudan a que el mortero sea moldeable y se adhiera a las superficies siendo ésta otra característica del uso de los aditivos. Los especímenes al fraguar presentan un estado sólido, firme y resistente.

Se determina esta dosificación como la mejor para el uso en canoas de concreto que a continuación se detallará más a profundidad en el ensayo a compresión para definir el diseño último.

**Figura 28.**

*Dosificación de mortero TIPO E*



*Nota.* Se presenta un mortero TIPO E. Elaborado por: Los autores.

**Figura 29.**

*Espécimen de mortero TIPO E*



*Nota.* Se presenta un molde de mortero TIPO E alisado y nivelado. Elaborado por: Los autores.

### **Figura 30.**

*Espécimen de mortero TIPO E*



*Nota.* Se presenta un mortero desencofrado TIPO E para respectivas observaciones.

Elaborado por: Los autores.

#### **3.4.4.3. Resistencia a la compresión**

Siguiendo el procedimiento antes descrito en el numeral 8.4.3. se realizó el ensayo NTE INEN 844 “CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA.” para todas las dosificaciones y edades, y con los resultados se busca tomar una decisión y elegir una dosificación que sea ligera y que su resistencia a la compresión permita a la mezcla cumplir con todas las sollicitaciones a las que estaría enfrentada una canoa de concreto.

Las dosificaciones Apolo, Berkeley e Incendius presentaron irregularidad en algunas de sus caras por lo que se tomaron varias medidas de sus dimensiones para que los resultados sean más confiables, se presenta un promedio de las medidas para el cálculo de su área, a continuación, se detalla, los valores obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión de cada uno de los diseños.



#### **3.4.4.3.1 Resultados obtenidos**

Las probetas se realizaron conforme al procedimiento explicado anteriormente y para su ensayo se utilizó la máquina de compresión para concreto de 3000kN semiautomática, en la que se ensaya cubos a partir de 200mm de arista, a la máquina de compresión se preparó con la siguiente configuración de acuerdo con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 488:2009 de ensayo a la compresión de morteros de 50mm de arista.

Velocidad de carga: 1,35 kN/s que corresponde al promedio del rango de velocidades establecido; sin embargo, para el ensayo de la dosificación Incendius a los 7 días, se optó por disminuir esta velocidad a casi la mínima debido a la fragilidad que presentaba visualmente, a partir de los 14 días esta muestra también se le asignó la velocidad de 1,35kN como a las demás.

La dosificación Incendius, Berkeley y Apolo presentan una consistencia aguada por lo que no se procedió a desmoldar al día siguiente de su elaboración, por lo tanto, el proceso de curado tampoco se lo desarrolló de manera inmediata afectando en su resistencia a la compresión.

Carga inicial: 0,01 para todos los ensayos sin excepción tal como explica la norma.

Orientación: las probetas fueron apoyadas sobre sus lados que permanecieron encofrados.

**Tabla 7.***Resistencia a la compresión a los 7 días de edad.*

7 DÍAS													
NOMBRE	PESO	b1	b2	b promedio	h1	h2	h promedio	c	Velocidad carga	Carga inicio	Carga máxima	Área	Resistencia a la compresión
	(g)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	( KN/s )	( KN )	( KN )	(mm) <sup>2</sup>	(Mpa)
B1	206,63	50,42	50,24	50,33	50,40	50,00	50,20	50,80	1,35	0,01	2,80	2526,57	1,11
B2	206,42	49,48	50,00	49,74	50,50	50,54	50,52	50,10	1,35	0,01	2,80	2512,86	1,11
A1	214,76	49,74	50,00	49,87	51,50	48,08	49,79	50,70	1,35	0,01	2,40	2483,03	0,97
A2	196,92	50,00	50,00	50,00	48,00	47,50	47,75	51,48	1,35	0,01	2,80	2387,50	1,17
I1	132,10	50,46	50,18	50,32	49,52	50,20	49,86	50,30	1,00	0,01	1,90	2508,96	0,76
I2	123,51	47,60	50,14	48,87	50,00	49,82	49,91	50,10	1,00	0,01	1,40	2439,10	0,57
D1	208,40	50,50	51,50	51,00	50,00	51,00	50,50	50,50	1,35	0,01	30,17	2575,50	11,71
D2	205,15	50,00	50,50	50,25	50,00	50,00	50,00	50,50	1,35	0,01	25,91	2512,50	10,31
E1	165,45	51,00	51,50	51,25	50,00	51,00	50,50	50,50	1,35	0,01	9,44	2588,13	3,65
E2	165,22	50,00	51,50	50,75	50,00	50,50	50,25	50,00	1,35	0,01	10,43	2550,19	4,09

*Nota.* Se presenta la tabla con medidas, velocidad de carga, carga de inicio y máxima y resistencia a la compresión de los especímenes a los 7 días de edad. Elaborado por: Los autores.

**Tabla 8.***Resistencia a la compresión a los 14 días de edad.*

14 DÍAS													
NOMBRE	PESO	b1	b2	b promedio	h1	h2	h promedio	c	Velocidad carga	Carga inicio	Carga máxima	Área	Resistencia a la compresión
	(g)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	( KN/s )	( KN )	( KN )	(mm) <sup>2</sup>	(Mpa)
A1	188,71	50,10	50,24	50,17	42,20	46,82	44,51	50,22	1,35	0,01	4,20	2233,07	1,88
A2	198,38	44,64	48,00	46,32	50,48	50,58	50,53	52,48	1,35	0,01	3,50	2340,55	1,50
B1	177,31	40,26	40,60	40,43	49,64	49,50	49,57	50,44	1,35	0,01	6,20	2004,12	3,09
B2	199,38	44,64	48,00	46,32	50,48	50,58	50,53	44,59	1,35	0,01	2,61	2340,55	1,12
I1	122,72	47,72	35,62	41,67	50,06	42,24	46,15	50,60	1,35	0,01	2,10	1923,07	1,09
I2	109,75	47,26	46,28	46,77	50,38	50,48	50,43	50,36	1,35	0,01	0,80	2358,61	0,34
D1	207,55	50,60	50,20	50,40	50,10	50,20	50,15	50,20	1,35	0,01	37,05	2527,56	14,66
D2	205,43	50,40	50,20	50,30	50,10	49,60	49,85	50,30	1,35	0,01	38,82	2507,46	15,48
E1	165,45	51,00	51,50	51,25	50,00	51,00	50,50	50,50	1,35	0,01	9,44	2588,13	3,65
E2	165,22	50,00	51,50	50,75	50,00	50,50	50,25	50,00	1,35	0,01	10,43	2550,19	4,09

*Nota.* Se presenta la tabla con medidas, velocidad de carga, carga de inicio y máxima y resistencia a la compresión de los especímenes a los 14 días de edad. Elaborado por: Los autores.

**Tabla 9.***Resistencia a la compresión a los 28 días de edad.*

28 DÍAS													
NOMBRE	PESO	b1	b2	b promedio	h1	h2	h promedio	c	Velocidad carga	Carga inicio	Carga máxima	Área	Resistencia a la compresión
	(g)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	( KN/s )	( KN )	( KN )	(mm)^2	(Mpa)
A1	222,64	50,02	50,38	50,20	47,60	46,62	47,11	50,46	1,35	0,01	33,22	2364,92	14,05
A2	206,20	51,10	50,78	50,94	47,36	47,32	47,34	49,24	1,35	0,01	18,88	2411,50	7,83
B1	215,15	51,58	50,80	51,19	50,58	50,20	50,39	50,30	1,35	0,01	10,08	2579,46	3,91
B2	201,44	46,82	47,58	47,20	51,00	51,46	51,23	49,04	1,35	0,01	10,43	2418,06	4,32
I1	126,18	47,08	49,02	48,05	50,46	50,90	50,68	49,70	1,35	0,01	1,80	2435,17	0,74
I2	117,17	45,30	47,80	46,55	49,50	49,48	49,49	50,80	1,35	0,01	1,60	2303,76	0,69
D1	211,74	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,50	1,35	0,01	44,64	2500,00	17,86
D2	210,53	49,96	49,90	49,93	49,92	50,00	49,96	49,10	1,35	0,01	32,93	2494,50	13,20
E1	187,94	50,34	48,82	49,58	49,90	49,92	49,91	49,92	1,35	0,01	32,93	2474,54	13,31
E2	189,21	50,18	49,96	50,07	49,92	50,14	50,03	49,82	1,35	0,01	20,23	2505,00	8,08

*Nota.* Se presenta la tabla con medidas, velocidad de carga, carga de inicio y máxima y resistencia a la compresión de los especímenes a los 28 días de edad. Elaborado por: Los autores.

### 3.4.4.3.2 Resistencia a la compresión a los 7 días

Las probetas presentan áreas cercanas a las esperadas por el molde variando 0,68% a 4,5% en el diseño Apolo, presentando valores muy cercanos a la realidad y la mayoría de estos superando el área esperada por el molde, logrando una carga máxima a los 7 días de 2,8 KN (Apolo y Berkeley).

El diseño Incendius dio los resultados más desfavorables con 1,9KN y el que más resiste a los 7 días fue el diseño “D” con 30,165KN, la resistencia a la compresión a los 7 días varía de 0,57 a 11,71 MPa siendo el menor el del diseño Incendius.

El mayor pertenece al diseño “D” arrojando valores muy bajos para morteros incluso para su temprana edad como lo podemos comparar con la resistencia a la compresión en morteros para

mampostería según la dosificación establecida por el código sismo resistente colombiano en el estudio de caso del ingeniero Sergio Valbuena como se muestra en la tabla comparativa.

**Tabla 10.**

*Resumen resistencia a la compresión promedio a los 7 días.*

Resumen resistencia a la compresión promedio alcanzada a los 7 días.			
MORTERO	CARGA MÁXIMA (Kn)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)	RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN Norma Colombiana (Mpa)
APOLO	2,40	0,97	2,65
	2,80	1,17	
BERKELEY	2,80	1,10	
	2,80	1,11	
INCENDIUS	1,90	0,76	
	1,40	0,57	
D	30,17	11,71	
	25,91	10,31	
E	9,44	3,65	
	10,43	4,09	

*Nota.* Se presenta la tabla con la resistencia a la compresión promedio de los especímenes a los 7 días de edad. Elaborado por: Los autores.

### 3.4.4.3.3. Resistencia a la compresión a los 14 días

Los diseños Apolo, Berkeley e Incendius presentan irregularidades en su geometría, su área disminuye significativamente respecto a la esperada por el molde, esto se debe por la falta de

trabajabilidad del mortero que se realizaron de forma práctica para descubrir el funcionamiento de los aditivos con el cemento y los agregados.

Los diseños “D”, “E” son más trabajables y su área se ajusta mejor a la del molde, en la siguiente tabla se presenta un resumen de la carga máxima y la resistencia a la compresión obtenida y además una comparación con un mortero de elaboración más común.

**Tabla 11.**

*Resumen resistencia a la compresión promedio a los 14 días.*

Resumen resistencia a la compresión promedio alcanzada a los 14 días.			
MORTERO	CARGA MÁXIMA (Kn)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)	RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN Norma Colombiana (Mpa)
APOLO	4,20	1,88	3,23
	3,50	1,50	
BERKELEY	6,20	3,09	
	6,10	2,61	
INCENDIUS	2,10	1,09	
	0,80	0,34	
D	37,05	14,66	
	38,82	15,48	
E	15,12	6,05	
	17,89	7,14	

*Nota.* Se presenta la tabla con la resistencia a la compresión promedio de los especímenes a los 14 días de edad. Elaborado por: Los autores.

#### **3.4.4.3.4. Resistencia a la compresión a los 28 días**

Los resultados obtenidos a los 28 días brinden más información del comportamiento del mortero y sobre todo del comportamiento de los aditivos y su influencia en la resistencia a la

compresión, al ser el valor al que llegaría al fallo por compresión y tomando en cuenta que la canoa se emplee hasta que ésta alcance su resistencia máxima podemos elegir un diseño con estos valores siguientes:

**Tabla 12.**

*Resumen resistencia a la compresión promedio a los 28 días.*

Resumen resistencia a la compresión promedio alcanzada a los 28 días.			
MORTERO	CARGA MÁXIMA (Kn)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Mpa)	RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN Norma Colombiana (Mpa)
APOLO	20,23	8,55	9,32
	18,88	7,83	
BERKELEY	10,08	3,91	
	10,43	4,32	
INCENDIUS	1,80	0,74	
	1,60	0,70	
D	44,64	17,86	
	32,93	13,20	
E	32,93	13,31	
	33,22	13,26	

*Nota.* Se presenta la tabla con la resistencia a la compresión promedio de los especímenes a los 28 días de edad. Elaborado por: Los autores.

#### **3.4.4.3.5. Comparativa con morteros convencionales**

Es necesario comparar los valores que se obtuvieron con morteros que se los pueda elaborar de manera convencional siendo estos diseñados con el método ACI según su resistencia esperada, los diseños que se ensayaron fueron elaborados con la intención de ser ligeros por lo que no se utilizó el método convencional.

El diseño se lo realizó de forma práctica utilizando las características especificadas de los aditivos y agregados livianos. Para la comparación de la resistencia a la compresión se utilizó un estudio realizado en Colombia, guiado por sus normas en el diseño de morteros clasificándolos por el origen de los agregados.

Estos valores se han registrado su valor promedio para que su comparación sea más confiable tomando en cuenta la calidad de los agregados y esperando un valor aceptable intermedio, la tabla presenta los siguientes valores siendo A el material de menos calidad y B el más usado y de mayor confiabilidad.

**Tabla 13.**

*Resistencia a la compresión promedio de morteros convencionales.*

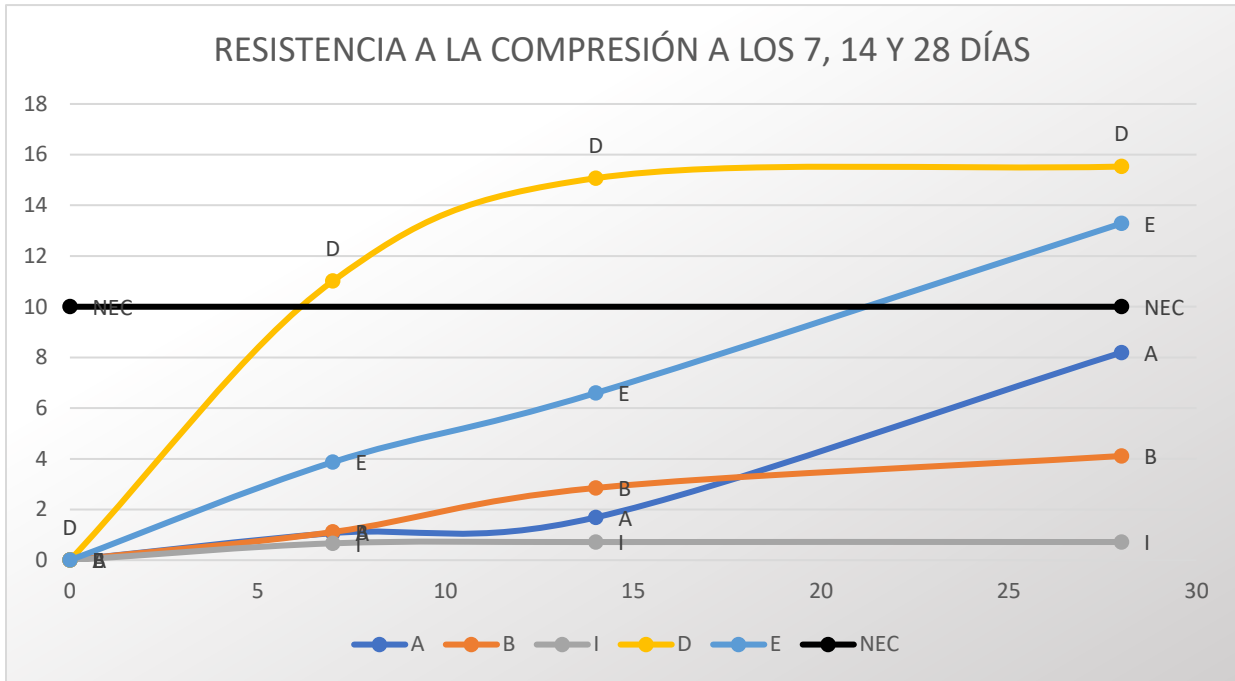
Mortero de pega	Resistencia a la compresión promedio (MPa)		
	7 días	14 días	28 días
1	1,49	3,32	13,47
2	2,06	5,2	11,35
3	1,77	4,49	12,18
4	3,3	2,35	6,14
5	3,62	2,13	6,48
6	3,65	2,24	6,31

*Nota.* Se presenta la tabla con la resistencia a la compresión promedio de morteros convencionales clasificados por el origen de los agregados. Fuente: Valbuena S. (2016).

También se definió como limite la resistencia mínima a la compresión la establecida por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MP) donde explica las cualidades de diseño y el valor que se ha tomado como resistencia mínima de 10 MPa la cual se representa en la siguiente gráfica:

**Figura 31.**

*Relación de las resistencias a la compresión de los especímenes a 7, 14 y 28 días de edad con la norma NEC-SE-MP*



*Nota.* Se presenta la resistencia de los especímenes a 7, 14 y 28 días de edad y el límite establecido por la norma NEC. Elaborado por: Los autores.

Los diseños “D” y “E” son los únicos que cumplen las condiciones necesarias establecidas por la NEC superando la resistencia a la compresión de 10 MPa por lo que la decisión de elegir una correcta dosificación se va a centrar en estas dos, descartando por completo el diseño Incendius y Berkeley con valores muy bajos, que no permitirían su uso en una canoa de concreto.



#### **3.4.4.4. Optimización de la mejor dosificación**

Los experimentos con mezclas se realizan en muchas áreas para mejorar y desarrollar productos, las mezclas con más de dos ingredientes se suelen combinar en proporciones variables para llegar a un producto final. De esta manera se obtendrá:

- Determinar que ingrediente o ingredientes son los de mayor influencia dentro de la mezcla.
- Modelar posibles respuestas en función de sus proporciones de los componentes dentro de la mezcla.
- Determinar el modelo específico en el que conste el porcentaje final de participación de cada componente para lograr que la mezcla sea idónea y tenga las propiedades deseadas.

Para modelar la mejor dosificación optimizada y obtener la mayor resistencia a la compresión se utiliza las dosificaciones preseleccionadas en el ensayo de compresión, las mismas que son Apolo, Diseño “D”, y Diseño “E”, no se tomará en cuenta la dosificación Incendius ni Berkeley debido a sus valores muy bajos de resistencia que fueron presentados anteriormente.

Para su optimización se utiliza el software Minitab el cual permite ingresar diseños de mezclas de varios componentes y ajustarlos a diferentes grados de diseño, Surface response, de esta manera obtener de manera rápida y sencilla el mejor modelo ajustado a nuestros valores, así como también la mejor dosificación en porcentajes basándonos en nuestros tres diseños seleccionados. Adicionalmente para el modelamiento utilizaremos los valores de la resistencia a la compresión obtenidas en el capítulo anterior que será nuestra columna de respuestas.

Cabe recalcar que el modelo se basa en la resolución de una matriz ortogonal dentro de la cual las columnas restantes de dicha matriz serán los diseños “Apolo”, “D” y “E”.

**Tabla 14.**

*Matriz ortogonal para el modelamiento en Minitab.*

+	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Apolo	Diseño D	Diseño E	Resistencia (MPa)
3	3	3	1	1	0.0	1.0	0.0	17.858
4	4	4	2	1	0.0	0.5	0.5	15.584
5	5	5	2	1	0.5	0.0	0.5	10.931
6	6	6	2	1	0.5	0.5	0.0	13.206
7	7	7	1	1	0.0	0.0	1.0	13.260
8	8	8	1	1	1.0	0.0	0.0	7.829
9	9	9	1	1	0.0	1.0	0.0	15.483
10	10	10	2	1	0.0	0.5	0.5	14.372
11	11	11	2	1	0.5	0.0	0.5	10.545
12	12	12	2	1	0.5	0.5	0.0	11.656

*Nota.* Se presenta la matriz ortogonal basada en los tres diseños seleccionados y su columna de repuesta que es la resistencia a la compresión en MPa. Elaborado por: Los autores.

**Tabla 15.**

*Resumen del modelo.*

### Resumen del modelo

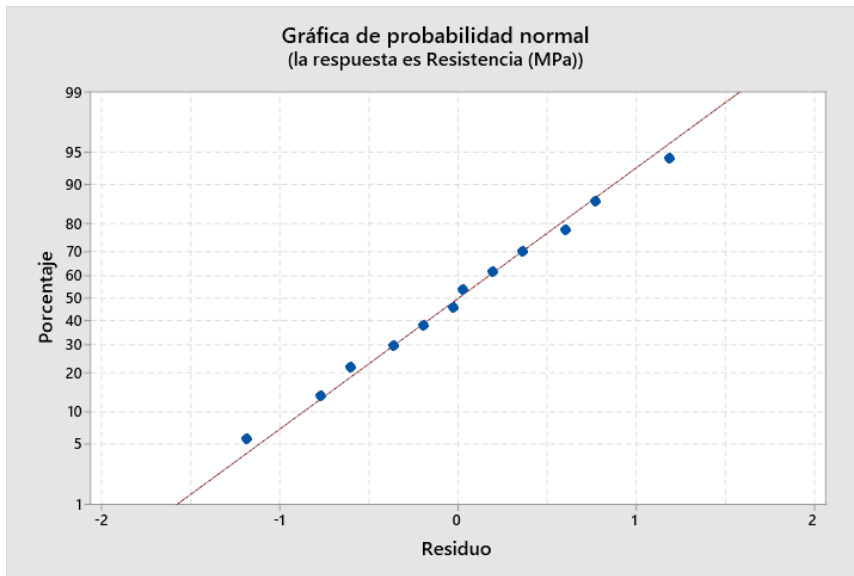
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	PRESS	R-cuad. (pred)
0.921396	94.70%	90.29%	20.3753	78.82%

*Nota.* Se presenta el resumen después de correr el diseño de la mezcla. Elaborado por: Los autores.

El modelo tiene un R2 de 94.7%, lo que nos indica que nuestros datos se ajustan correctamente a nuestro modelo con una alta confiabilidad.

**Figura 32.**

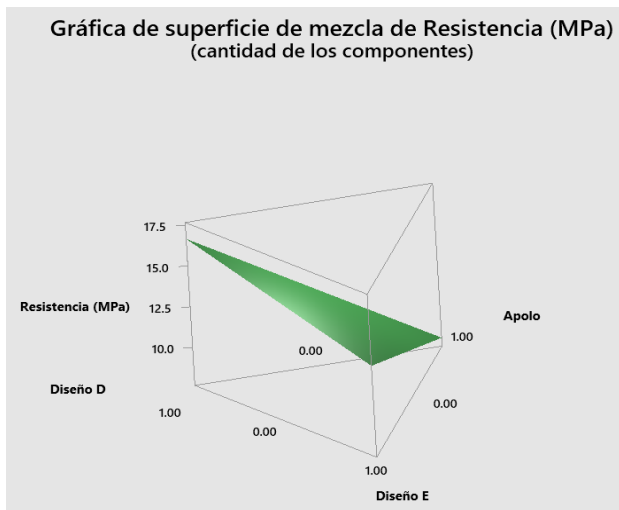
*Gráfica de probabilidad normal.*



*Nota.* Se presenta la gráfica de probabilidad normal en la que se evidencia la correcta correlación que existe entre nuestros valores. Elaborado por: Los autores.

**Figura 33.**

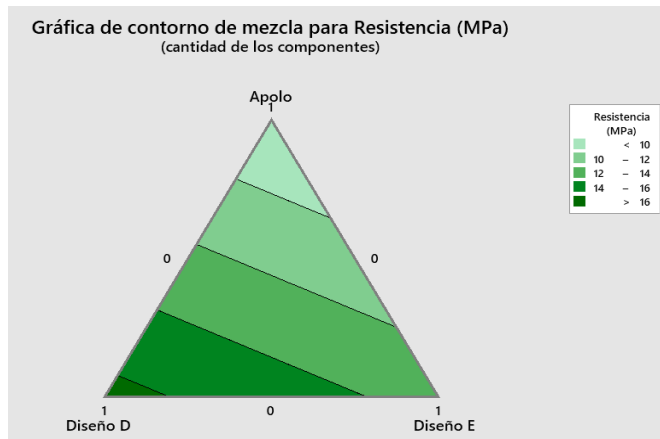
*Gráfica de superficie de mezcla de Resistencia (MPa).*



*Nota.* Se presenta la gráfica de superficie de muestra en relación con nuestros componentes. Elaborado por: Los autores.

**Figura 34.**

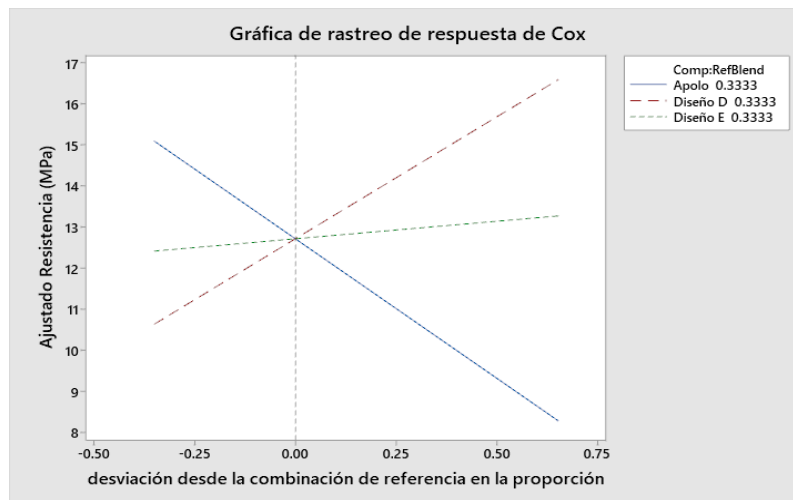
*Gráfica de contorno de mezcla para resistencia (MPa).*



*Nota.* Se presenta la gráfica de contorno de muestra en la que se observa que nuestra dosificación exacta estará muy ligada al diseño tipo “D” con valores de más de 16 MPa. Elaborado por: Los autores.

**Figura 35.**

*Gráfica de rastreo de respuesta.*



*Nota.* Se puede observar que al mantener el diseño tipo “D” se tiene una gráfica creciente en la que mientras aumentemos su proporción obtendremos mayor resistencia a la compresión, lo totalmente opuesto sucede con el diseño tipo Apolo. Elaborado por: Los autores.

**Figura 36.**

*Solución global.*

Solución global	
Componentes	
Apolo	= 0
Diseño D	= 1
Diseño E	= 0.0000000
Respuestas pronosticadas	
Resistencia	= 16.6705 ,
deseabilidad	= 0.933922

*Nota.* Se puede observar que al mantener el diseño tipo “D” obtendremos mayor resistencia a la compresión. Elaborado por: Los autores.

Este modelamiento permite obtener una clara idea que en base a resistencia nuestra mejor opción es la dosificación tipo D, esto se puede corroborar en laboratorio realizando variaciones en la dosificación y registrar su variación en la resistencia, también se realizó varios modelamientos de la mezcla ya que existen factores que se pueden evaluar y considerar al buscar la dosificación óptima como son: tiempo de mezcla, masa requerida (mayor o menor densidad), factores ambientales como la temperatura, etc.

Para la presente investigación se opta por una mejor dosificación de tipo E, debido a su alta resistencia a la compresión y su característica liviana, lo cual se acopla al objetivo que es el diseño de la mezcla para la elaboración de una canoa de concreto.

#### **3.4.4.5. Densidad de la dosificación de diseño**

Para determinar que diseño es más ligero no solo se pesa los especímenes sino también SE determino la densidad de las dosificaciones para poder tomar una decisión más técnica, ya que el volumen puede cambiar de un espécimen a otro.

Se ha ocupado el molde de 50 mm de arista para tener un cubo de 125 cc y se ha tomado el peso antes de cada uno de los ensayos de 7, 14 y 28 días. Cabe recalcar, que el espécimen para cumplir con las normas del ensayo a compresión debe permanecer en agua por su proceso de curado para alcanzar su máxima resistencia.

Al momento antes de pesarlo se encuentra en estado saturado superficialmente seco, estos valores ayudaron para conocer la masa que obtiene cada una de las dosificaciones y desarrollar el diseño final tomando en cuenta que se espera que la mezcla sea ligera. Los valores que se presenta a continuación en la tabla 15 se han obtenido mediante el uso de la ecuación de densidad ( $d = \frac{m}{V}$ ).

**Tabla 16.**

*Densidad obtenida en especímenes a los 7 días.*

7 días						
NOMBRE	masa (gr)	B promedio (mm)	H promedio (mm)	Prof. promedio (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	d=m/V gr/cm <sup>3</sup>
B1	206,63	50,33	50,20	50,80	128,35	1,61
B2	206,42	49,74	50,52	50,10	125,89	1,64
A1	214,76	49,87	49,79	50,70	125,89	1,71
A2	196,92	50,00	47,75	51,48	122,91	1,60
I1	132,10	50,32	49,86	50,30	126,20	1,05
I2	123,51	48,87	49,91	50,10	122,20	1,01
E1	165,45	51,25	50,50	50,50	130,70	1,27
E2	165,22	50,75	50,25	50,00	127,51	1,30
D1	208,40	51,00	50,50	50,50	130,06	1,60
D2	205,15	50,25	50,00	50,50	126,88	1,62

*Nota.* Se puede observar en distintos especímenes de 7 días de edad datos como la masa, dimensiones, volumen y densidad. Elaborado por: Los autores.

**Tabla 17.***Densidad obtenida en especímenes a los 14 días.*

14 días						
NOMBRE	masa (gr)	B promedio (mm)	H promedio (mm)	Prof. promedio (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	d=m/V gr/cm <sup>3</sup>
B1	177,31	40,43	44,51	49,57	89,20	1,99
B2	199,38	46,32	50,53	50,53	118,27	1,69
A1	188,71	50,17	44,51	50,22	112,14	1,68
A2	198,38	46,32	50,53	52,48	122,83	1,62
I1	122,72	41,67	46,15	50,60	97,31	1,26
I2	109,75	46,77	50,43	50,36	118,78	0,92
E1	167,35	49,85	50,15	49,50	123,75	1,35
E2	167,35	49,95	50,15	49,80	124,75	1,34
D1	207,55	50,40	50,15	50,20	126,88	1,64
D2	205,43	50,30	49,85	50,30	126,12	1,63

*Nota.* Se puede observar en distintos especímenes de 14 días de edad datos como la masa, dimensiones, volumen y densidad. Elaborado por: Los autores.

**Tabla 18.***Densidad obtenida en especímenes a los 28 días.*

28 días						
NOMBRE	masa (gr)	B promedio (mm)	H promedio (mm)	prof promedio (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	d=m/V gr/cm <sup>3</sup>
B1	222,64	50,20	47,11	50,46	119,33	1,87
B2	206,20	50,94	47,34	49,24	118,74	1,74
A1	215,15	51,19	50,39	50,30	129,75	1,66
A2	201,44	47,20	51,23	49,04	118,58	1,70
I1	126,18	48,05	50,68	49,70	121,03	1,04
I2	117,17	46,55	49,49	50,80	117,03	1,00
E1	211,74	50,00	50,00	50,50	126,25	1,68
E2	210,53	49,93	49,96	49,10	122,48	1,72
D1	187,94	49,58	49,91	49,92	123,53	1,52
D2	189,21	50,07	50,03	49,82	124,80	1,52

*Nota.* Se puede observar en distintos especímenes de 28 días de edad datos como la masa, dimensiones, volumen y densidad. Elaborado por: Los autores.

Y se tomó la densidad al diseño tipo E dejando secar por 24horas obteniendo los siguientes resultados:



**Tabla 19.***Densidad obtenida en muestra 1 de dosificación tipo E.*

Diseño E						
E1	medida	masa	ancho	base	prof	d=m/V
		(gr)		(mm)	(mm)	gr/cm <sup>3</sup>
	#1	174,93	49,62	49,60	49,88	1,43
	#2		49,60	49,52	49,82	
	#3		49,68	49,70	49,92	
	promedio		49,63	49,61	49,87	
				Volumen promedio(cm <sup>3</sup> )		122,80

*Nota.* Se puede observar en una muestra de dosificación tipo E datos como la masa, dimensiones, volumen y densidad. Elaborado por: Los autores.

**Tabla 20.***Densidad obtenida en muestra 2 de dosificación tipo E.*

Diseño E						
E2	medida	masa	ancho	base	prof	d=m/V
		(gr)		(mm)	(mm)	gr/cm <sup>3</sup>
	#1	185,18	50,46	49,70	49,90	1,49
	#2		49,68	49,70	49,82	
	#3		50,38	49,72	49,90	
	promedio		50,17	49,71	49,87	
				Volumen promedio(cm <sup>3</sup> )		124,38

*Nota.* Se puede observar en una muestra de dosificación tipo E datos como la masa, dimensiones, volumen y densidad. Elaborado por: Los autores.

**Tabla 21.**

*Densidad obtenida en muestra 3 de dosificación tipo E.*

Diseño E						
E3	medida	masa	ancho	base	prof	d=m/V
		(gr)		(mm)	(mm)	gr/cm <sup>3</sup>
	#1	177,28	49,48	49,82	50,00	1,44
	#2		50,00	49,62	49,80	
	#3		49,88	49,82	49,80	
	promedio		49,79	49,75	49,87	
			Volumen promedio(cm <sup>3</sup> )		123,52	

*Nota.* Se puede observar en una muestra de dosificación tipo E datos como la masa, dimensiones, volumen y densidad. Elaborado por: Los autores.

#### **3.4.4.6 Módulo de rotura**

El módulo de rotura representa la resistencia a la flexión que posee el concreto; además, es un indicador de su desempeño frente a cargas que comprimen la cara que recibe la carga y tracciona la cara opuesta, para el ensayo según la norma de NTE INEN 2552:2011. Sin embargo, se utilizó como una referencia puesto que esta norma es utilizada para hormigón convencional y no con la finalidad de su uso en morteros alivianados por lo que las dimensiones de los especímenes no son como los indica la norma, por motivos de dosificación y equipo se realizó en especímenes de menor envergadura, pero proporcionales a los que dicta la norma.

El presente ensayo permite conocer el comportamiento del diseño frente a las cargas que estaría sometido una canoa de concreto, siendo la flexión uno de los principales temas a tomar en cuenta, el resultado de este ensayo permitirá a los estudiantes tomar decisiones sobre si optar o no por el diseño o a su vez reforzar las áreas donde la flexión sea predominante en contrarrestar.

#### 3.4.4.6.1. Resultados obtenidos

El procedimiento para la obtención de resultados se basa en la norma de determinación de la resistencia a la flexión del hormigón y el manual de laboratorio de ensayos para vigas con cargas en los tercios. Estos resultados pueden variar de los esperados en un hormigón convencional, por razones de diseño y tamaño de especímenes, como se ha explicado anteriormente el diseño se basó en su ligereza y trabajabilidad.

Previo a los ensayos se tomó medidas de su longitud, base y altura como ordena la norma NTE INEN 2554:2011 para el cálculo de su volumen y además de su masa para comparar la densidad aparente. El ensayo de los especímenes presento el fallo por el tercio medio como se puede ver en la figura 34, para lo cual se realizó el cálculo con la ecuación correspondiente que se detalla a continuación.

**Figura 37.**

*Muestra ensayada a flexión en laboratorio.*



*Nota.* Se puede observar la muestra ensayada a flexión en laboratorio y su plano de falla.

Elaborado por: Los autores.

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Siendo:

MR= Modulo de rotura del concreto en kg/cm<sup>2</sup>

P= Carga máxima aplicada en kg.

L= Luz libre entre apoyos en cm

b= Ancho de la viga en cm

d= Altura de la viga en cm

A continuación, se presentan los valores obtenidos en el ensayo para el diseño de mezcla tipo “E”, el cual hemos postulado como la mejor opción para el desarrollo de una canoa de concreto:

### 3.4.4.6.2. Ensayo a flexión a los 7 días

**Tabla 22.**

*Datos de muestra E1 para ensayo a flexión.*

Ensayo a Flexión						
Muestra N°	1					
Diseño:	"E"					
Edad (días)	7					
	#1	#2	#3	Promedio	Unidades ensayo	
Longitud (mm)	169,30				16,93	cm
Luz libre	118,50				11,85	cm
Ancho (mm)	49,42	49,36	49,74	49,51		
Altura (mm)	48,00	48,44	49,28	48,57		
Masa (gr)	544,13					
Volumen (mm <sup>3</sup> )	407116,36					
densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1,34					
Carga máxima (KN)	1,27				129,30	kg
Fallado						
Longitud (mm)	99,20				9,92	cm
longitud a luz libre	73,80				7,38	cm
Ancho (mm)	49,42	49,22	49,62	49,42	4,94	cm
Altura (mm)	49,70	49,40	49,50	49,53	4,95	cm
	MR			12,64	kg/cm <sup>2</sup>	

*Nota.* Se presentan los valores de las dimensiones de la muestra a ser ensayada. Elaborado por: Los autores.

**Tabla 23.***Datos de muestra E2 para ensayo a flexión.*

Ensayo a Flexión					
Muestra N°	2				
Diseño:	"E"				
Edad (días)	7				
	#1	#2	#3	Promedio	Unidades ensayo
Longitud (mm)	169,10				16,91 cm
Luz libre	118,30				11,83 cm
Ancho (mm)	49,54	49,20	49,46	49,40	
Altura (mm)	50,28	49,80	49,44	49,84	
Masa (gr)	566,42				
Volumen (mm <sup>3</sup> )	416340,43				
densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1,36				
Carga máxima (KN)	1,27				129,30 kg
Fallado					
Longitud (mm)	101,00				10,10 cm
longitud a luz libre	75,60				7,56 cm
Ancho (mm)	49,02	49,20	49,02	49,08	4,91 cm
Altura (mm)	49,38	49,30	49,42	49,37	4,94 cm
	MR			12,79	kg/cm <sup>2</sup>

*Nota.* Se presentan los valores de las dimensiones de la muestra a ser ensayada. Elaborado por: Los autores.

Los resultados obtenidos presentan un módulo de rotura en promedio de 12.71 kg/cm<sup>2</sup>, comparado con un hormigón convencional en construcción y el índice de valores que recomienda Sánchez de Guzmán (2001, pg.135) para correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura de  $(2.0 \text{ a } 2.7) * \sqrt{f'c}$  para un hormigón de 210kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días corresponde a 23.36 kg/cm<sup>2</sup> este valor está por encima del módulo de rotura obtenido, considerando que la

resistencia a la compresión está más cercana a la de un mortero comparando con el valor mínimo posible de resistencia en morteros de cemento hidráulico proporcionado por la NEC de 10MPa (101.97 kg/cm<sup>2</sup>) podemos afirmar que la resistencia se acerca a la esperada.

### 3.4.4.6.3 Ensayo a flexión a los 14 días

**Tabla 24.**

*Datos de muestra E3 para ensayo a flexión.*

Ensayo a Flexión					
Muestra N°	3				
Diseño:	"E"				
Edad (días)	14				
	#1	#2	#3	Promedio	Unidades ensayo
Longitud (mm)	169,22				16,92 cm
Luz libre	119,90				11,99 cm
Ancho (mm)	49,54	49,20	49,46	49,40	
Altura (mm)	50,28	49,80	49,44	49,84	
Masa (gr)	567,14				
Volumen (mm <sup>3</sup> )	416635,89				
densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1,36				
Carga máxima (KN)	2,41				245,55 kg
Fallado					
Longitud (mm)	96,06				9,61 cm
longitud a luz libre	70,66				7,07 cm
Ancho (mm)	49,38	49,52	49,60	49,50	4,95 cm
Altura (mm)	49,30	49,16	49,32	49,26	4,93 cm
	MR			24,51	kg/cm <sup>2</sup>

*Nota.* Se presentan los valores de las dimensiones de la muestra a ser ensayada. Elaborado por: Los autores.

**Tabla 25.***Datos de muestra E4 para ensayo a flexión.*

Ensayo a Flexión						
Muestra N°	4					
Diseño:	"E"					
Edad (días)	14					
	#1	#2	#3	Promedio	Unidades ensayo	
Longitud (mm)	169,42				16,94	cm
Luz libre	118,62				11,86	cm
Ancho (mm)	49,66	49,46	49,54	49,55		
Altura (mm)	49,94	49,80	49,90	49,88		
Masa (gr)	569,25					
Volumen (mm <sup>3</sup> )	418758,85					
densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1,36					
Carga máxima (KN)	2,48				253,09	kg
Fallado						
Longitud (mm)	94,60				9,46	cm
longitud a luz libre	69,20				6,92	cm
Ancho (mm)	49,70	49,28	49,48	49,49	4,95	cm
Altura (mm)	49,88	49,46	49,78	49,71	4,97	cm
	MR			24,55	kg/cm <sup>2</sup>	

*Nota.* Se presentan los valores de las dimensiones de la muestra a ser ensayada. Elaborado por: Los autores.

Como se muestran en las tablas la resistencia a la flexión incrementó al doble teniendo como promedio de los especímenes ensayados 24,53 kg/cm<sup>2</sup>. Este valor concuerda con lo esperado para un mortero convencional con una resistencia final a los 28 días de 10 MPa establecido por la NEC SE MP estando cerca de su límite superior de  $2.7 \cdot \sqrt{f'c}$  igual a 25.87 kg/cm<sup>2</sup>.



### 3.4.4.6.4. Ensayo a flexión a los 28 días

**Tabla 26.**

*Datos de muestra E5 para ensayo a flexión.*

Ensayo a Flexión					
Muestra N°	5				
Diseño:	"E"				
Edad (días)	28				
	#1	#2	#3	Promedio	Unidades ensayo
Longitud (mm)	169,38				16,93 cm
Luz libre	118,58				11,85 cm
Ancho (mm)	49,62	49,60	49,68	49,63	
Altura (mm)	49,60	49,52	49,70	49,60	
Masa (gr)	561,06				
Volumen (mm <sup>3</sup> )	417037,99				
densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1,34				
Carga máxima (KN)	2,78				284,09 kg
Fallado					
Longitud (mm)	96,22				9,62 cm
longitud a luz libre	70,82				7,08 cm
Ancho (mm)	49,64	49,56	49,70	49,63	4,96 cm
Altura (mm)	49,56	49,36	49,66	49,52	4,95 cm
	MR=			27,67 kg/cm <sup>2</sup>	

*Nota.* Se presentan los valores de las dimensiones de la muestra a ser ensayada. Elaborado por: Los autores.

**Tabla 27.***Datos de muestra E6 para ensayo a flexión.*

Ensayo a Flexión						
Muestra N°	6					
Diseño:	"E"					
Edad (días)	28					
	#1	#2	#3	Promedio	Unidades ensayo	
Longitud (mm)	169,76				16,97	cm
Luz libre	118,96				11,89	cm
Ancho (mm)	49,74	49,82	49,62	49,72		
Altura (mm)	49,82	49,68	49,80	49,76		
Masa (gr)	561,06					
Volumen (mm <sup>3</sup> )	420110,24					
densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1,33					
Carga máxima (KN)	2,93				299,28	kg
Fallado						
Longitud (mm)	102,56				10,25	cm
longitud a luz libre	77,16				7,71	cm
Ancho (mm)	49,68	49,48	49,70	49,62	4,96	cm
Altura (mm)	49,80	49,56	49,74	49,70	4,97	cm
				MR=	29,04	kg/cm <sup>2</sup>

*Nota.* Se presentan los valores de las dimensiones de la muestra a ser ensayada. Elaborado por: Los autores.

La resistencia final a la flexión permite conocer con certeza cual será el comportamiento del diseño del concreto aligerado frente a cargas que provoquen este tipo de esfuerzos, las tablas muestran una clara desaceleración de este parámetro teniendo un promedio de los especímenes ensayados de 28.359 kg/cm<sup>2</sup>, si este valor se compara con el esperado por la NEC de 27.128 kg/cm<sup>2</sup> la diferencia es mínima.

Teniendo en cuenta que es un hormigón aligerado de menor densidad se afirma que este diseño, cumple con los requisitos establecidos por la NEC y si este diseño se ocupase dentro de una construcción ofrecería las mismas características siendo más ligero y trabajable.

Al tener menor densidad se ocuparía menos material para cumplir con el mismo propósito y después de un análisis económico, considerando las mejoras e innovación de este diseño se optaría para su uso en mampostería por su excelente trabajabilidad podría este diseño competir contra al mortero convencional.

Suponiendo que la canoa quedara varada entre dos rocas sobre las cuales se apoya, y una persona que pesa 80 kgf sentada ocupe un área de 30\*30 cm generaría un esfuerzo de 0.089 kg/cm<sup>2</sup> y sin contar con el peso propio de la canoa y el empuje que genera el agua, se puede afirmar que el diseño de mezcla es capaz de soportar dicha flexión.

#### **3.4.4.7 Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura**

Se conoce que a medida que aumenta la resistencia a la compresión del concreto también lo hace de forma simultánea su resistencia a la flexión en menor proporción. En el país varios autores que de diferentes métodos y ensayos correspondientes que relacionan el módulo de rotura con la resistencia a la compresión, sin embargo, ninguno de ellos es totalmente acertado ya que el módulo de rotura puede variar entre un 10% a un 20% del  $f'_c$  según el tipo de agregado grueso empleado en la mezcla.

El código ACI recomienda una fórmula para estimar de manera aproximada el módulo de rotura en ausencia de los resultados de los ensayos a flexión.

$$MR = k * \sqrt{f'_c}$$

Donde:

MR: Módulo de rotura estimado para el concreto ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

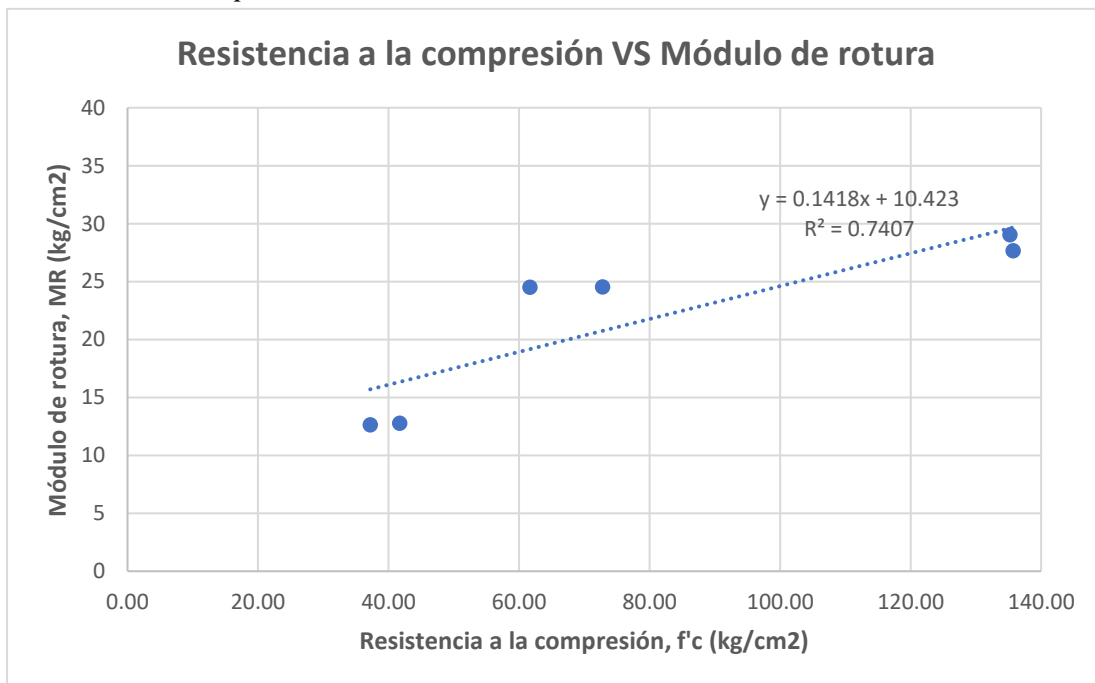
$f'c$ : Resistencia a la compresión real del concreto ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

k: constante con variación entre 2.0 y 2.7. (Sánchez de Guzmán, 2001, pg. 135)

En varias ocasiones se asume teóricamente que la correlación existente es lineal; sin embargo, no es correcto ya que más se ajusta a un tipo parabólico o exponencial. A continuación, se muestra el mejor tipo que se adapte a la mezcla obteniendo así una ecuación mucho más aproximada a la realidad ajustada a los especímenes de 7, 14 y 28 días de edad.

**Figura 38.**

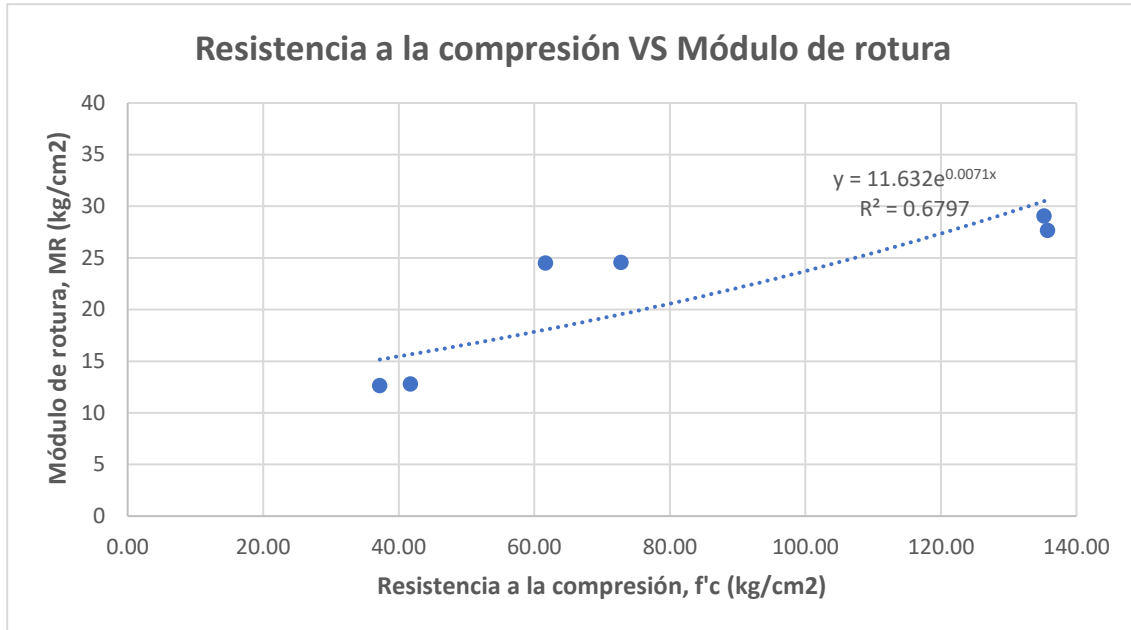
*Correlación de tipo lineal.*



*Nota.* Se presenta la correlación de tipo lineal para nuestros datos. Elaborado por: Los autores.

**Figura 39.**

*Correlación de tipo exponencial.*

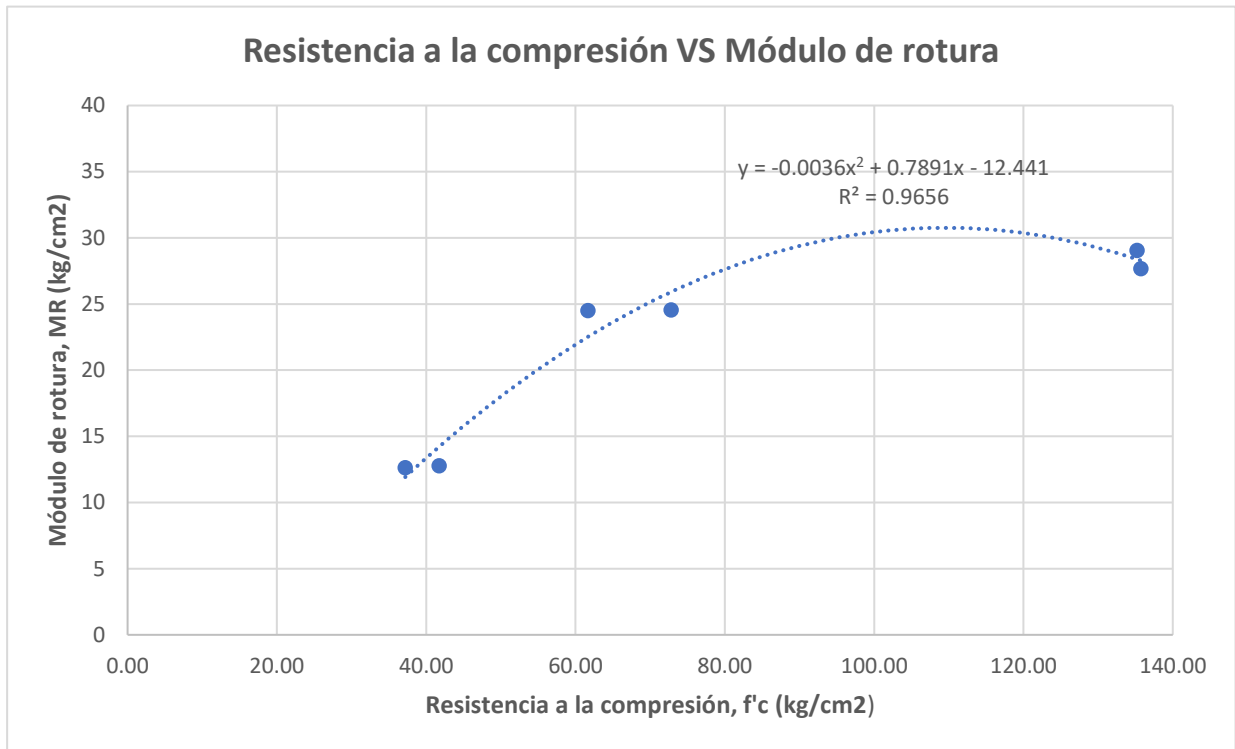


*Nota. Se presenta la correlación de tipo exponencial para nuestros datos. Elaborado por:*

*Los autores.*

**Figura 40.**

*Correlación de tipo polinómica grado 2.*



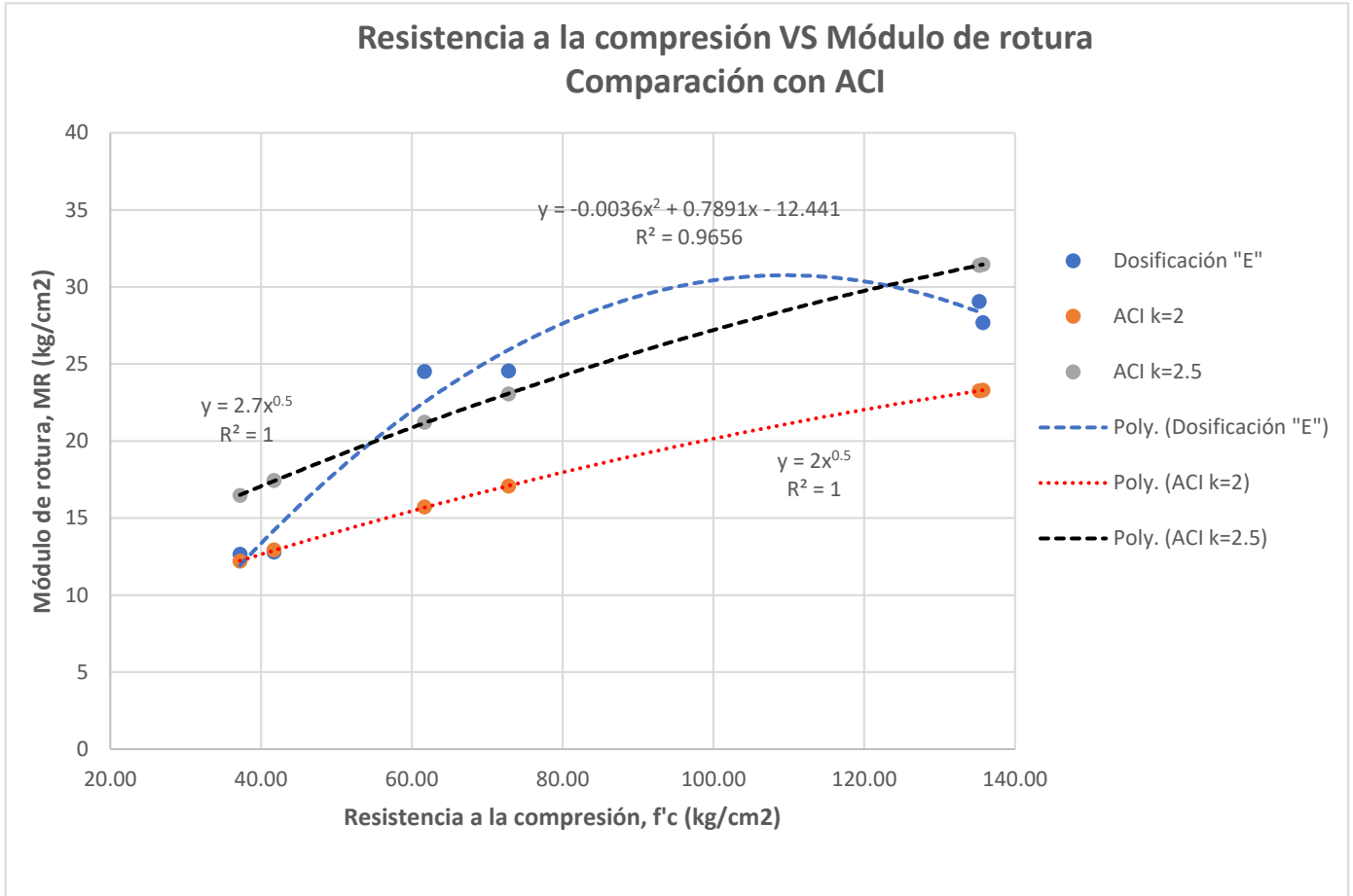
*Nota.* Se presenta la correlación de tipo polinómica de grado 2 para nuestros datos.

Elaborado por: Los autores.

Se puede observar claramente que el tipo parabólico es el que mejor se ajusta a los datos debido a que tenemos un R<sup>2</sup> de 0.966 siendo este valor el grado de confiabilidad en que se relacionan las variables de la correlación.

**Figura 41.**

*Proyección de gráficas en comparación con valores del ACI.*



*Nota.* Se presenta la comparación de nuestro tipo polinómica con los valores recomendados por el ACI. Elaborado por: Los autores.

Se observa en el gráfico que la curva obtenida en la investigación se encuentra considerablemente dentro del rango que recomienda el ACI siendo la ecuación final de la forma:

$$MR = -0.0036(f'c)^2 + 0.7891(f'c) - 12.441$$

## CONCLUSIONES

Después de realizar el análisis y pruebas de cómo reaccionan los aditivos, con los agregados y el cemento que se pueden conseguir en el mercado ecuatoriano se presenta la siguiente dosificación en porcentaje y en peso para un kilo de mezcla como la ideal para su uso en canoas de hormigón aligerado:

### DISEÑO TIPO "E"

INICIAL	SIKA FUME	SIKA FIBER	AIRBET ON	MILLENI UM	AGRE G. FINO	CEMEN TO	AGUA	Relación A/C
E	0,873%	0,873%	0,072%	0,698%	43,095 %	36,749%	17,640%	0,48
E	8,73	8,73	0,72	6,98	430,95	367,49	176,40	0,48

**gr**

Para el diseño de esta mezcla aligerada se aprovechó las características de cada uno de los aditivos con la finalidad de hacer de la mezcla ligera y que su resistencia a la compresión sea lo suficiente para resistir las cargas a las que una canoa está sometida.

El diseño en los aditivos incluso de aire y superplastificante supera la sugerencia del fabricante con el fin de potenciar las cualidades que prestan sacrificando la resistencia a la compresión.

Se determinó la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de todas las dosificaciones que se realizaron, se los comparó con la resistencia mínima establecida por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC SE MP de 10 MPa a los 28 días presentando los siguientes valores:



Resumen resistencia a la compresión en Mpa  
alcanzada por los cinco diseños.

MORTERO	EDAD (días)		
(inicial)	7	14	28
A	1,07	1,69	8,19
B	1,11	2,85	4,11
I	0,66	0,72	0,72
D	11,01	15,07	15,53
E	3,87	6,59	13,28

Los diseños iniciales que sirvieron de base para el desarrollo de una mezcla definitiva no cumplieron con la resistencia a la compresión mínima establecida dando a conocer que estos diseños que en su dosificación presentan incompatibilidad entre las dosificaciones de los materiales.

El diseño D cumple con el requerimiento de resistencia por lo que se lo utilizo de base para desarrollar el diseño final E, en este diseño se trató de aligerarlo con el aumento del aditivo inclusor de aire y el aditivo superplastificante.

Se determino la densidad de la dosificación tipo "E" obteniendo los siguientes valores que se presentan en el siguiente resumen:

Resumen densidad a los 28 días del diseño tipo "E"

#	Masa (gr)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Control (gr/cm <sup>3</sup> )
1	174,93	122,80	1,42	2,245
2	185,18	124,38	1,49	
3	177,28	123,52	1,44	

El diseño tipo “E” presenta una densidad menor a la probeta de control de hormigón convencional por lo que se afirma que es un hormigón ligero y estando dentro de los parámetros establecidos según Morales un hormigón alivianado “Posee una densidad de equilibrio entre 1,12 y 1,92 gr/cm<sup>3</sup>” (Morales, et. al, 2018, p. 2).

Estando por debajo del promedio del rango aceptado y siendo un 63.25% de un hormigón convencional.

El módulo de rotura se calculó mediante el ensayo de resistencia a la flexión prevista por la norma NTE INEN 2554:2011, el diseño tipo “E” a los 28 días presentó 29,05 kg/cm<sup>2</sup>, es decir la dosificación tiene la capacidad de soportar una fuerza de 29,05 kgf por cada centímetro cuadrado de superficie.

La correlación obtenida entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura se ajusta a un modelo polinómico de segundo grado; es decir, parabólico, llegando así a comprobar la variación que existe que establece el ACI entre estos dos ensayos.

Todo tipo de mezcla o dosificación debe ser planteada en base a las fichas técnicas de aditivos, fibras, cemento y agregados a utilizar debido a que existen muchas variaciones entre proveedores que pueden alterar el diseño. Una vez contempladas dichas variaciones se proceden a modificar las dosificaciones en función de los requerimientos.

## RECOMENDACIONES

Gracias a los ensayos de resistencia a la compresión y módulo de rotura se recomienda que nuestro diseño de mezcla aligerada puede utilizarse como material de mampostería en proyectos donde se necesite aligerar las cargas muertas de mampostería, siendo un material lo suficientemente resistente que cumple con los requisitos de resistencia a la compresión en morteros y podría disminuir costos al utilizar menos material por su baja densidad.

El uso de la máquina de compresión para concretos de 3000 KN no responde con confiabilidad a especímenes con dimensiones menores a las de una prueba de ensayo a flexión convencional de 150 X 150 X 450 mm, en el presente proyecto por el uso de los moldes que se apeguen al de la norma en morteros, la distancia entre apoyos queda demasiado cercana y no permite que el espécimen este sujeto netamente a flexión, arrojando valores más altos a los esperados.

Dentro del uso de la máquina mezcladora para morteros se recomienda seguir el procedimiento establecido en este proyecto ya que es importante conseguir la homogeneidad en la mezcla, así como también llevar a cabo el proceso con la mínima velocidad de la máquina (Nivel 1), de esta manera se evita maltratar el agregado fino y no exista derrame en la mezcla.

El tiempo de mezclado es fundamental para conseguir la mezcla ideal, se recomienda detener la máquina cuando se obtenga una mezcla homogénea, esto puede suceder entre 4 a 6 minutos.

Se recomienda el uso de cualquier tipo de fibra natural con el fin de incrementar la resistencia a la compresión.

## REFERENCIAS

- Aditec. (2015). *Airbeton Inclusor de aire*. (Hoja Técnica 014-2015). <https://www.aditec-ec.com/producto/airbeton/>
- Aditec. (2021). *Millenium II Hiperplastificante – Reductor de Agua de Alto Rango*. (Hoja Técnica 091A-2021). <https://www.aditec-ec.com/producto/millenium/>
- Alban, G. P. G., Arguello, A. E. V., & Molina, N. E. C. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 4(3), 163-173.
- Anguera Argilaga, M. T. (1991). Manual de prácticas de observación. *Revista mexicana de análisis de la conducta*, 17(3), 2-4.
- Ballestero, E. (1970). Sobre el método analítico de valoración. *Revista de Estudios Agrosociales*, 72(1), 7-36.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2200732&orden=99357&info=link>
- Baque Vera, C. (2014). *Análisis de la fibra de vidrio alcalino como agregado en el diseño de hormigones para aumentar la resistencia a la flexotracción*. [Tesis de doctorado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí] Uleam.  
<https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/3591>
- Cevallos Macias, A. y Gonzabay Asensio, M. (2020). *Diseño de un sistema estructural para losas de piso empleando losetas de mortero celular*. [Trabajo de titulación de tercer nivel, Universidad Estatal Península de Santa Elena] DSpace.  
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5364>
- Fierro, P., Asitimbay, S. (2019). *Manual de laboratorio de ensayo de materiales para la construcción*. [Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil,

Universidad Politécnica Salesiana] DSpace.  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17044>

Gómez, E. (1979). Hormigones livianos con arcillas expandidas chilenas. *IDIEM*, 18(1).  
<https://revistaidiem.uchile.cl/index.php/RIDIEM/article/view/38775>

González, R. (2016). *Concreto de alta resistencia utilizando aditivo microsilice*. [ Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Hermilio Valdizán] UNHEVAL.  
<https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/1290/TIC%2000109%20G67.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gordillo, R. C., Mayo, N. C., Lara, G. G., & Gigante, S. V. (2010). Metodología de la investigación educativa: Investigación ex post facto. [https://investigacion-educativa9.webnode.es/\\_files/200000028-28c3a29c05/Estudios%20comparativos%20casuales%20o%20ex%20post%20facto.pdf](https://investigacion-educativa9.webnode.es/_files/200000028-28c3a29c05/Estudios%20comparativos%20casuales%20o%20ex%20post%20facto.pdf)

Hidalgo-Madrigal, C. y Guevara-Fallas, G. (2011). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en marcha*, 25(2), 2-3.

Lopera, J., Ramírez, C., Zuluaga, M., Ortiz, J. (2010). El método analítico como método natural. *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, 25(1).  
<https://www.redalyc.org/pdf/181/18112179017.pdf>

Morales-Gubio, L. y Santamaría-Carrera, J. (2018). Hormigón estructural de baja densidad para edificaciones. *Ingenio*, 2(2), 2-3.

NTE INEN 488. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista*. Quito-Ecuador: Segunda revisión.

- NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.*  
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1573.pdf>
- NTE INEN 2554. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón.* (Utilizando una viga simple con carga en los tercios).  
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2554.pdf>
- NTE INEN 3124. (2010). *Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio.* Quito-Ecuador.
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero.* Bogotá, Colombia: Bhandar editores.
- Serrano Córdova, P. (2018). *Elaboración de un concreto ligero para uso estructural en la ciudad de Lima metropolitana 2018.* [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo] Repositorio Digital Institucional.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/30557>
- Sika. (2020). *Aditivo en polvo con base a sílica-fume. SikaFume. Grupo Sika.*  
<https://ecu.sika.com/es/construccion/concreto/esenciales-para-concreto/sikafume.html>
- Sika. (2019). *Fibra modificada de polipropileno para el refuerzo de hormigón y mortero. SikaFiber. Grupo Sika.* <https://ecu.sika.com/es/construccion/concreto/fibras-para-concreto/sikafiber.html>
- Valdez, L., Suarez, G. (2010). *Hormigones Livianos.* [Trabajo final para la obtención del título: Ingeniero Civil, Escuela Superior Politécnica del Litoral] DSpace.  
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10620>

Valbuena, S., Mena, M., García, C. (2016). Evaluación de la resistencia a la compresión en morteros de pega de acuerdo con la dosificación establecida por el código Sismo Resistente Colombiano. *Tecnura*, 20(48), 101-113.

Vite-Terán, L. (2014). Principio de Arquímedes. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Escuela Preparatoria No. 4 Vida Científica*, 2(3).