



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE  
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCION**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERIO/A CIVIL**

**TEMA**

**CARBONATACION DEL HORMIGON ARMADO, APLICANDO  
MICROESFERAS HUECAS Y AISLANTE TERMICO PARA LOSAS**

**TUTOR**

**MG. MARIA ALEJANDRA BORBOR BAJAÑA**

**AUTORES**

**LUIS IVAN ORBE VIVAR  
ANNA ALICIA TORRES SANCHEZ**

**GUAYAQUIL**

**2024**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS

**TÍTULO Y SUBTÍTULO:**

CARBONATACION DEL HORMIGON ARMADO, APLICANDO MICROESFERAS HUECAS Y AISLANTE TERMICO PARA LOSAS

**AUTOR/ES:**

ANNA ALICIA TORRES  
SANCHEZ  
IVAN LUIS ORBE VIVAR

**TUTOR:**

MARIA ALEJANDRA BORBOR BAJAÑA

**INSTITUCIÓN:**

**Universidad Laica Vicente  
Rocafuerte de Guayaquil**

**Grado obtenido:**

INGENIERO CIVIL

**FACULTAD:**

Facultad INGENIERIA Y  
ARQUITECTURA

**CARRERA:**

INGENIERIA CIVIL

**FECHA DE PUBLICACIÓN:**

2024

**N. DE PÁGS:**

103

**ÁREAS TEMÁTICAS:** ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION

**PALABRAS CLAVE:** PH, Hormigón, Térmico, Muestra, Norma

**RESUMEN:**

La investigación ampliada tuvo para analizar el proceso de carbonatación dentro del hormigón armado para losas con micro esferas huecas y aislamiento térmico.

Mediante muestras cilíndrica con diámetro de 15 cm y altura 30, en vigas con un espesor de 15 cm y una altura de 50 cm y temperatura máxima 30° C, para 4 series de muestras.

Días de exposición 30 y 28 días (12 muestras), todas las muestras expuestos al mismo ambiente de exposición con curado respecto a la fecha previa a la rotura de hormigón para el ensayo Información recolectada se verifica periódicamente el nivel de fisura dentro de la ejecución en la norma ecuatoriana y finalmente se determina la carbonatación con el pH de las muestras expuestas utilizando el método ensayo de fenolftaleína 1%.

Además, se obtuvieron los resultados con valores obtenidos por la introducción de la solución de fenolftaleína en el hormigón mediante tiras de pH en los resultados del método de prueba en la profundidad media de carbonización de la fenolftaleína 1% es evidente.

Se llegó que las fisuras en las losas de hormigón en consecuencia hay una relación entre la carbonatación y la magnitud de los reactivos expuestos donde la transformación es el grado de reacción más alto en las zonas de resistencia, es decir, a mayor pH del mismo.

Este estudio ha posibilitado entregar la información acerca de la calificación del procedimiento de carbonatación dentro de la transformación de pH a través del ensayo.

Las conclusiones fueron influenciadas por la consideración de variables del entorno y componentes químicos expuestos como las aguas de lluvia y la duración de las zonas mismas.

<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>
-------------------------------------------	-----------------------------

**DIRECCIÓN URL (Web):** <https://www.ulvr.edu.ec/>

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
---------------------	-----------------------------------------------	------------------------------------

<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b> ORBE VIVAR LUIS IVAN TORRES SANCHEZ ANNA ALICIA	<b>Teléfono:</b> 0979847597 0982538068	<b>E-mail:</b> lorbev@ulvr.edu.ec atorressan@ulvr.edu.ec
----------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------	----------------------------------------------------------------

<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	PH. D Marcial Calero Amores Teléfono: (04)259 6500 Ext. 241 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec Mgtr.Jorge Torres Rodríguez Teléfono: (04)259 6500 Ext. 242 E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec
------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

ORBE VIVAR - TORRES SANCHEZ - 10 A.pdf

### INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

2%

2

Diego Peña, Jhonny Rodríguez, Dinora Salcedo, Mariana Suarez Pereira. "Estimación de daños ocasionados por la carbonatación en estructuras de concreto armado en la ciudad de Nirgua", Gaceta Técnica, 2022

Publicación

1%

3

[bdigital.unal.edu.co](https://bdigital.unal.edu.co)

Fuente de Internet

1%

4

Luis Daniel Zambrano Navarrete, Ronnie Jefferson Alava Santos, Wilter Enrique Ruíz Párraga, Edgar Antonio Menéndez Menéndez. "Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón", Gaceta Técnica, 2022

Publicación

1%

5

[repositorio.ujcm.edu.pe](https://repositorio.ujcm.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

[revistas.unica.cu](https://revistas.unica.cu)

6 Fuente de Internet 1 %

---

7 [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net) Fuente de Internet 1 %

---

Excluir citas Apagado Excluir coincidencias < 1 %  
Excluir bibliografía Apagado



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El (Los) estudiante(s) egresado(s) LUIS IVAN ORBE VIVAR – ANNA ALICIA TORRES SANCHEZ, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, Carbonatación del hormigón armado, aplicando micro esferas huecas y aislante térmico para losas corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)



Firma:

LUIS IVAN ORBE VIVAR

C.I.0924495880



Firma:

ANNA ALICIA TORRES SANCHEZ

C.I. 0803739606

## **CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR**

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación Carbonatación del hormigón armado, aplicando micro esferas huecas y aislante térmico para losas designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería industria y construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: carbonatación del hormigón armado, aplicando microesferas huecas y aislante térmico para losas presentado por el (los) estudiante (s) Luis Ivan Orbe Vivar y Anna Alicia Torres Sánchez como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero (a) civil, encontrándose apto para su sustentación.



Firma:

MARIA ALEJANDRA BORBOR BAJAÑA

C.C.

## **AGRADECIMIENTO**

agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mí caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención en especial para DIOS, mi familia, mis padres mi hija y a mis amigos.

A mis padres por darme la guía necesaria en todos estos años de carrera, darme el entendimiento de tomar buenas decisiones no dejar de detenerme.

A mi hija Aitana por ser mi fortaleza y mi pilar para poder seguir comprometido a mis estudios también a Dios por no dejarme solo en ninguno momento ni flaquearme ante toda la adversidad de mis estudios.

Mi gratitud, también a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte a mi tutora y a cada docente quienes con su apoyo y enseñanzas me han guiado en este camino para ser un profesional.

Gracias infinitas a todos.

**Luis Ivan Orbe Vivar**

Primero que nada, agradezco a Dios por darme la sabiduría y entendimiento en todo este camino en mi carrera por no detenerme para poder seguir avanzando. A mi familia quienes han sido parte fundamental de cada uno de mis pasos, pero sobre todo han estado ahí en todo momento quienes amo y valoro sin ellos no hubiera llegado hasta aquí. Pero sobre todo a mi mama, papa, abuela y tía quienes han sido parte de todo este proceso han experimentado cada uno de mis experiencias junto conmigo.

**Anna Alicia Torres Sánchez**



## **DEDICATORIA**

A mis padres, Blanca y Luis, cuya fe inquebrantable y amor incondicional siempre han sido mi mayor fuente de inspiración. Su apoyo en cada paso de mi camino académico ha sido fundamental para alcanzar esta meta. A mi hija Aitana, por su paciencia y comprensión en los momentos difíciles, que con su sonrisa me llena de amor y esperanza. Y, finalmente, a todos aquellos mentores y amigos que me impulsaron a no rendirme, este logro también es para ustedes.

**Luis Ivan Orbe Vivar**

Este trabajo está dedicado a Dios y mi familia quienes me han apoyado en todo momento tanto en mi bienestar como emocional. Confiando en todo momento en mi inteligencia y veracidad junto a mi lado en cada adversidad que ha pasado a lo largo de estos años dentro de la carrera. Y también todas las personas que han pasado conmigo a lo largo de este gran aprendizaje hasta aquí y siguen estando.

**Anna Alicia Torres Sánchez**

## RESUMEN

La investigación ampliada tuvo para analizar el proceso de carbonatación dentro del hormigón armado para losas con microesferas huecas y aislamiento térmico.

Mediante muestras cilíndrica con diámetro de 15 cm y altura 30, en vigas con un espesor de 15 cm y una altura de 50 cm y temperatura máxima 30° C, para 4 series de muestras.

Días de exposición 30 y 28 días (12 muestras), todas las muestras expuestas al mismo ambiente de exposición con curado previo a la rotura de flexión y compresión. Información recolectada se verifica periódicamente el nivel de fisura dentro de la ejecución en la norma ecuatoriana y finalmente se determina la carbonatación con el pH de las muestras expuestas utilizando el método ensayo de fenolftaleína 1%.

Además, se obtuvieron los resultados con valores obtenidos por la introducción de la solución de fenolftania en el hormigón mediante tiras de pH en los resultados del método de prueba en la profundidad media de carbonización de la fenolftaleína 1% es evidente.

Se llegó que las fisuras en las losas de hormigón en consecuencia hay una relación entre la carbonatación y la magnitud de los reactivos expuestos donde la transformación es el grado de reacción más alto en las zonas de resistencia, es decir, a mayor pH del mismo.

Este estudio ha posibilitado entregar la información acerca de la calificación del procedimiento de carbonatación dentro de la transformación de pH a través del ensayo.

Las conclusiones fueron influenciadas por la consideración de variables del entorno y componentes químicos expuestos como las aguas de lluvia y la duración de las zonas mismas.

**PALABRAS CLAVES:** PH, Hormigón, Térmico, Muestra, Norma

## **ABSTRACT**

The expanded research had to analyze the carbonation process within reinforced concrete for slabs with hollow microspheres and thermal insulation.

By means of cylindrical samples with a diameter of 15 cm and height 30, in beams with a thickness of 15 cm and a height of 50 cm and a maximum temperature of 30° C, for 4 series of samples.

Exposure days 30 and 28 days (12 samples), all samples exposed to the same exposure environment with pre-break curing of bending and compression. Information collected: the level of crack within the execution in the Ecuadorian standard is periodically verified and finally the carbonation is determined with the pH of the exposed samples using the phenolphthalein 1% test method.

In addition, the results were obtained with values obtained by the introduction of the phenolphthalein solution into the concrete by pH strips in the results of the test method at the mean depth of carbonization of phenolphthalein 1% is evident.

It was found that the cracks in the concrete slabs consequently there is a relationship between carbonation and the magnitude of the exposed reactants where the transformation is the highest degree of reaction in the resistance zones, that is, at the higher pH of the same.

This study has made it possible to provide information about the qualification of the carbonation procedure within the pH transformation through the assay.

The conclusions were influenced by the consideration of environmental variables and exposed chemical components such as rainwater and the duration of the areas themselves.

**KEYWORDS:** PH, Concrete, Thermal, Sample, Standard

## INDICE GENERAL

CAPÍTULO I .....	2
1.1 Tema .....	2
1.2 Planteamiento del Problema: .....	2
1.3 Formulación del Problema .....	3
1.4 Objetivo General .....	3
1.5 Objetivos Específicos .....	3
1.6 Idea a Defender .....	3
1.7 Línea de Investigación .....	4
CAPÍTULO II .....	5
2.1 Marco Teórico .....	5
2.1.1 Antecedentes .....	5
2.1.2 Fundamentación Teórica .....	7
2.1.2.1 Carbonatación del Concreto. ....	7
2.1.2.1.1 Comprobación de la Carbonatación con Reactivos. ....	19
2.1.2.1.2 Microesferas Huecas. ....	22
2.1.2.1.3 Aislante Térmico. ....	32
2.1.2.1.4 Resistencia a la Compresión del Concreto. ....	36
2.2 Marco Legal .....	42
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador .....	42
2.2.2 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización .....	43
2.2.2 Ley Orgánica de Vivienda de Interés Social .....	44
2.2.3 NTE INEN 2380:2011 .....	45
CAPÍTULO III .....	47
3.1 Enfoque de la Investigación .....	47
3.2 Alcance de la Investigación.....	48

3.3 Técnica e Instrumentos para Obtener los Datos .....	49
3.3.1 Operacionalización de la Variable .....	49
3.3.1.1 Ensayos de Resistencia .....	49
3.3.1.1.1 Ensayos a los Agregados.....	50
3.3.1.1.2 Elaboración de la Mezcla. ....	55
3.3.1.1.3 Curado de los Elementos de Hormigón. ....	56
3.3.1.1.4 Rotura de los Cilindros y Viguetas. ....	58
3.3.1.2 Ensayo de Titulación .....	59
3.3.1.3 Cuadro Comparativo.....	61
3.3.1.4 Bitácora Valorada .....	61
3.4 Población y Muestra.....	64
3.4.1 Conjunto Población.....	64
3.4.2 Subconjunto Muestra .....	64
3.5 Tipos de Muestra en Investigación Cualitativa.....	64
CAPÍTULO IV .....	66
4.1 Presentación y Análisis de Resultados .....	66
4.1.1 Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto .....	66
4.1.1.1 Resultados de los Ensayos a los Agregados.....	66
4.1.1.2 Resultados de Vigas y Cilindros. ....	72
4.1.2 Resultados Bitácora Valorada .....	74
4.1.3 Resultados del Cuadro Comparativo .....	79
4.1.4 Análisis de Resultados.....	80
CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES .....	83
BIBLIOGRAFÍA .....	84

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 .....	8
Figura 2 .....	9
Figura 3 .....	10
Figura 4 .....	11
Figura 5 .....	13
Figura 6 .....	14
Figura 7 .....	16
Figura 8 .....	18
Figura 9 .....	21
Figura 10 .....	24
Figura 11 .....	27
Figura 12 .....	34
Figura 13 .....	36
Figura 14 .....	39
Figura 15 .....	50
Figura 16 .....	51
Figura 17 .....	51
Figura 18 .....	52
Figura 19 .....	53
Figura 20 .....	54
Figura 21 .....	55
Figura 22 .....	55
Figura 23 .....	56
Figura 24 .....	56
Figura 25 .....	57
Figura 26 .....	57
Figura 27 .....	58
Figura 28 .....	58
Figura 29 .....	59
Figura 30 .....	60
Figura 31 .....	60
Figura 32 .....	66

Figura 33 .....	67
Figura 34 .....	67
Figura 35 .....	68
Figura 36 .....	69
Figura 37 .....	69
Figura 38 .....	70
Figura 39 .....	71
Figura 40 .....	72
Figura 41 .....	73
Figura 42 .....	75
Figura 43 .....	76

### **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1 .....	4
Tabla 2 .....	23
Tabla 3 .....	25
Tabla 4 .....	28
Tabla 5 .....	49
Tabla 6 .....	61
Tabla 7 .....	63
Tabla 8 .....	74
Tabla 9 .....	77
Tabla 10 .....	78
Tabla 11 .....	79
Tabla 12 .....	79
Tabla 13 .....	79

## INTRODUCCIÓN

El hormigón es el material, a nivel internacional, más empleado en el mundo, según Guerra et al., (2023), posee una composición heterogénea de áridos, cemento, adiciones minerales, agua, aditivos, en una cierta proporción que puede variar dentro de cierto rango. La correcta selección y unión de estos componentes produce un material altamente duradero y con una elevada resistencia a la compresión, pero con un bajo desempeño, frente a solicitaciones de tracción. Esta deficiencia ha sido suplida por el acero de refuerzo, que presenta un excelente comportamiento ante la tracción, pero el refuerzo de acero termina siendo un punto débil, que exige requisitos especiales para proporcionarle resistencia suficiente, en el tiempo.

Chiriboga et al., (2022), sostuvieron en su trabajo que la patología más significativa y frecuente, en estructuras de hormigón armado, es la corrosión de las barras de acero de refuerzo, originada cuando la capa pasavante que protege la superficie del acero, se rompe por diferentes mecanismos. El ingreso del ion cloruro o la carbonatación cuando sobrepasa la profundidad del hormigón de recubrimiento (que es una barrera química y física), rompe la capa pasavante y causa una corrosión localizada o generalizada, respectivamente.

Pico y Villagrán (2024), estudiaron el impacto ambiental de la carbonatación del hormigón y dijeron que en atmósferas urbanas, rurales o industriales, el proceso de carbonatación es la causante más habitual del proceso de deterioro del hormigón. La alta alcalinidad del hormigón pH entre 12,5-13,5, mantiene la capa pasiva existente en la superficie del acero. La reacción del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico hace disminuir el pH, hasta alcanzar valores por debajo de 9, con lo cual se pierde la capa pasiva y las armaduras quedan expuestas a ser corroídas si la humedad y la disponibilidad de oxígeno son adecuadas.

Ulibarrie y Vanney (2023), lograron encontrar datos que respaldan el hecho de que a nivel internacional se están realizando experiencias con ensayos acelerados de carbonatación, pero existe poco consenso en cuanto a las condiciones de ensayo, en particular, sobre el estado higroscópico del hormigón, la concentración de  $\text{CO}_2$  y la composición de los cementos, por lo cual, resulta poco aplicable para estimar el comportamiento de hormigones a nivel local.



# CAPÍTULO I

## ENFOQUE DE LA PROPUESTA

### 1.1 Tema

Carbonatación del Hormigón Armado, Aplicando Microesferas Huecas y Aislante Térmico para Losas.

### 1.2 Planteamiento del Problema:

Las estructuras de hormigón armado para losas dentro de la carbonatación están constantemente a un proceso químico natural en el cual el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del aire reacciona con los componentes alcalinos del cemento, formando carbonato de calcio. Este proceso puede tener implicaciones en la durabilidad del hormigón al perder en el diseño de estructuras.

En atmósferas como urbanas, rurales o industriales, hace que el proceso de carbonatación sea la causante más habitual del proceso de deterioro del hormigón teniendo la alta alcalinidad del hormigón del pH entre 1-14, manteniendo la capa pasiva existente en la superficie del acero esto hace que la reacción del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico hace disminuir el pH, hasta alcanzar valores por debajo de 14, con lo cual se pierde la capa pasiva y las armaduras quedan expuestas a ser corroídas con la humedad y la disponibilidad de oxígeno.

En los últimos años, se ha venido elaborando hormigón armado para losas con agregados, de modo que se reduce el porcentaje de Clinker, que es responsable de proveer la mayor parte de los compuestos químicos alcalinos que participan en la reacción del  $\text{CO}_2$ . Además, es significativo explicar el uso de complementos con el fin de cambiar características en condición variadas.

Al incorporar microesferas huecas y material de aislamiento térmico en las losas de hormigón, se pueden introducir beneficios adicionales y desafíos específico con el comportamiento frente a la carbonatación de cementos producidos a nivel local. [Villagrán Zaccardi, 2012; Falcone et al., 2009; Irassar, 2010; Taus, 2010].

Por lo tanto, es de gran importancia a nivel de la zona, probar el método de carbonatación con los reactivos mencionados para juzgar la calidad del hormigón armado para losas por diferentes motivos relacionados con el agua y el material que se cementa, diferentes cantidades como tipos de adictivos en las adiciones para evitar

que los objetos de diseño se deterioren y conserven su funcionamiento, de acuerdo a la manera en que están expuestas.

### **1.3 Formulación del Problema**

¿Cuál es la influencia de la carbonatación en la resistencia del hormigón aditivo con microesferas huecas y aislante térmico?

### **1.4 Objetivo General**

Evaluar la resistencia del hormigón fraguado con aditivos de microesferas huecas y aislante térmico con valores cercanos al pH neutro mediante el análisis de cilindros y vigas para la presentación de la afectación por carbonatación.

### **1.5 Objetivos Específicos**

- Analizar cilindros y vigas de hormigón a través de la elaboración de mezcla común para losas para su rotura en laboratorio.
- Aplicar el reactivo fenolftaleína al 1% a las muestras de hormigón mediante la localización de la línea de rotura para la simulación de la patología del hormigón por fisuras.
- Comparar los valores de resistencia en las muestras de hormigón con distintos valores de pH y distintas dosificaciones de aditivos mediante una tabla comparativa para el establecimiento de la afectación por carbonatación.
- Generar un presupuesto referencial mediante el análisis de precios de implementación de los materiales para los ensayos.

### **1.6 Idea a Defender**

Estimar el proceso de nivel carbonización que proporciona información concisa para determinar los resultados de los ensayos granulométricos como especificaciones de materiales de hormigón armado para losas utilizando aditivos microesferas huecas y aislamiento térmico mediante las muestras de rotura de cilindro y vigas de hormigón armado para su verificación junto la comparación de resultados en el ensayo de fenolftaleína 1% mediante el PH de las muestras realizadas.

## 1.7 Línea de Investigación

**Tabla 1**

Línea de investigación.

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

Fuente: Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, (2024)

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **2.1 Marco Teórico**

##### **2.1.1 Antecedentes**

Muñoz et al., (2019), desarrolló diversos métodos encaminados a la solución del problema ambiental y al tratamiento de residuos de construcción y demolición. Por ello, los residuos de hormigón se utilizaron en nuevas mezclas de mortero y hormigón, sustituyendo total o parcialmente a los áridos naturales. En términos comparativos, el agregado reciclado tiene mayor absorción, densidad nominal y aparente, menor factor de forma y menor resistencia a la abrasión en la máquina de Los Ángeles, así como en la Micro -Deval en el contexto de las propiedades físicas de NFA, RFA y CRFA (tamaño de partícula, densidad y absorbancia) se determinaron de acuerdo con las pautas de prueba ASTM C136-14 y ASTM C128-05. NFA corresponde a arena de río, mientras que RFA se obtiene triturando cilindros de hormigón en laboratorio.

El texto proporciona las propiedades mecánicas del mortero, como la resistencia a la compresión y la flexión que contribuye a la sostenibilidad ambiental en comparación con las alternativas de viabilidad financiera de utilizar árido reciclado en el mortero en comparación tecnologías podría tener sinergias.

Ebensperger y Olivares (2023), realizó un estudio cuyo propósito fue obtener resultados concretos de campo a lo largo de 20 años para validar la aplicación del método de permeabilidad al aire kT para evaluar la vida remanente de estructuras de concreto armado en riesgo de corrosión por carbonatación, ya que los estudios de carbonatación realizados en Chile son limitados y el resto es cemento puzolánico Portland, expuesto a diferentes ambientes. Finalmente se presenta una propuesta para clasificar el nivel de exposición a carbonatos en relación al riesgo de ocurrencia de corrosión del acero, la cual toma en consideración la concentración de CO<sub>2</sub> en el ambiente, así como el nivel de humedad presente en el elemento y valores límite sobre la tasa de carbonatación y la permeabilidad al aire.

El texto proporciona información sobre evaluar la efectividad de las estrategias de mejora, como el uso de microesferas huecas y aislamiento térmico, en la reducción de la tasa de carbonatación dentro criterios claros para evaluar la clasificar el riesgo de carbonatación en diferentes condiciones y entornos.

El objetivo del estudio desarrollado por Catari (2021), fue evaluar el proceso de carbonatación y cambios de pH del concreto en el canal del túnel - río Asana, ubicado en el proyecto Quellaveco, distrito de Torata, región Moquegua. Se recopiló información de temperatura y humedad relativa periódicamente, para finalmente medir el progreso de la carbonatación y el pH de las muestras expuestas mediante la aplicación del método de prueba de fenolftaleína. Este estudio proporciona conocimientos sobre la evaluación de la carbonatación y los cambios de pH mediante el método de prueba de fenolftaleína. Los resultados dependen de la evaluación de factores ambientales y químicos como el flujo y el tiempo de exposición.

El proyecto de tesis proporciona información comparativa de la necesidad en el mantenimiento a lo largo del tiempo esto sería útil para desarrollar programas de mantenimiento efectivos y económicos sobre cómo estas estrategias impactan la resistencia a la compresión, la flexión y otras propiedades importantes.

La investigación presentada por Villagrán et al., (2021), tuvo como objetivo mejorar el reciclaje de los residuos de construcción y demolición, que pueden representar hasta el 25-30% de la generación total de residuos por lo que ya se está regulando. adaptable, aceptando en muchos casos contenidos de hasta un 30% de agregado grueso reciclado donde no hay requisitos significativos de sostenibilidad, aunque las características de transporte son menores, aún se puede evitar la corrosión en la estructura. Los recursos humanos mediante métodos cuantitativos de carbonización acelerada proporcionan información comparable a su aplicación en concreto convencional

El texto proporciona información una visión integral de cómo estas prácticas afectan la durabilidad, resistencia y sostenibilidad de las estructuras en la inclusión del agregado reciclado con microesferas huecas y aislamiento térmico podría revelar la compatibilidad de estas prácticas entre sí.

Para Montero (2024), el conocimiento de diferentes tipos de degradación de las estructuras de hormigón armado tiene importancia para conocer la disminución de la durabilidad en un ambiente de exposición concreto y para valorar las posibles soluciones.

La corrosión en el acero de refuerzo de una estructura de hormigón es una de las principales causas de fallo. esta corrosión puede ser debida básicamente a la entrada de agresivos como el CO<sub>2</sub> y al ion cloruro.

En este taller se mostrará a hacer medidas por ensayos no destructivos que ayuden a evaluar el estado del acero de refuerzo, así como ensayos para conocer el estado del hormigón expuesto a estos agresivos.

## **2.1.2 Fundamentación Teórica**

### **2.1.2.1 Carbonatación del Concreto.**

Chine et al., (2019), al respecto de la carbonatación del concreto dijeron que el concreto es un material cerámico poroso que está constantemente expuesto a la corrosión atmosférica, siendo la carbonatación uno de los principales mecanismos de corrosión. Este fenómeno también afecta al metal en el concreto reforzado, que normalmente se protege con una capa oxidada (pasivación). Sin embargo, el CO<sub>2</sub> puede penetrar en el material, reaccionar con los compuestos hidratados del concreto y formar calcita (CaCO<sub>3</sub>) en las paredes de los poros, lo que altera las condiciones alcalinas y causa la pérdida de la capa protectora en el metal (despasivación).

Según los autores, la literatura científica actualmente incluye numerosos estudios sobre este tema, especialmente sobre el efecto de la dimensión de los poros, la difusividad del CO<sub>2</sub> en el concreto carbonatado y la humedad relativa. Se ha investigado la carbonatación del cemento puzolánico y la evolución temporal de la carbonatación en concretos y morteros. La velocidad de carbonatación del gel de silicato cálcico hidratado (C-S-H) en el concreto depende de la presión parcial del CO<sub>2</sub>.

Además, experimentos de carbonatación acelerada en laboratorio han sido realizados para estudiar los efectos de la concentración de CO<sub>2</sub> y la humedad relativa en las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto. Recientemente, un análisis estadístico sobre la velocidad de carbonatación del concreto, basado en datos publicados, ha proporcionado un modelo para prever la carbonatación de concretos.

## Figura 1

Especímenes de la cámara de carbonatación acelerada a ser estudiados.



Fuente: Chine et al., (2019)

Los resultados del ensayo colorimétrico con fenolftaleína mostraron la profundidad de carbonatación en función del tiempo de exposición. Después de dos días en una atmósfera con 25% de CO<sub>2</sub>, la carbonatación alcanzó 4 mm de profundidad. La velocidad de avance de la carbonatación fue inicialmente alta y luego disminuyó, siguiendo un comportamiento típico de los fenómenos difusivo-reactivos.

Los análisis de difracción de rayos X confirmaron la presencia de calcita en la parte externa del concreto, disminuyendo hacia el centro. En muestras con 28 días de exposición también se detectó anortita. Por otra parte, los análisis TGA corroboraron la presencia de CaCO<sub>3</sub>, cuya concentración disminuyó con la profundidad, y mostraron la descomposición de la calcita a aproximadamente 700 °C en muestras con 44 días de exposición. Finalmente, se observó que la resistencia a compresión de las muestras disminuyó con el tiempo de carbonatación.

Para Salazar (2023), desde el punto de vista químico, la carbonatación es una reacción ácida crucial para la durabilidad del concreto, causada por la difusión de CO<sub>2</sub> del aire o del suelo en la estructura porosa del concreto. Este proceso implica la reacción de carbonatos disueltos con productos de la hidratación del cemento Portland ordinario (OPC), principalmente con iones calcio. El CO<sub>2</sub> se disuelve en la solución de poros alcalina, iniciando una serie de reacciones y disociaciones que dependen del pH. El ácido carbónico puede disociarse en iones HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, y estos iones reaccionan con el calcio para formar carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), que puede precipitarse en las formas de calcita, aragonita o vaterita.

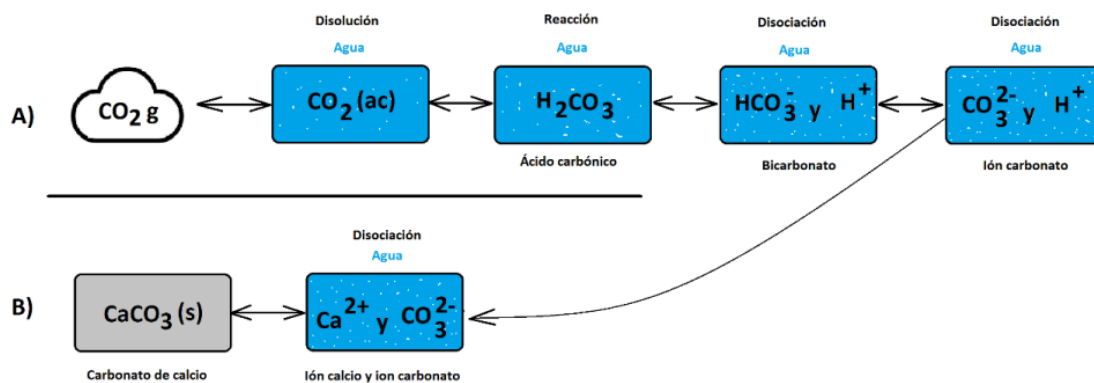
La calcita es el polimorfo más estable en condiciones ambientales, mientras que las fases metaestables como vaterita y aragonita pueden formarse junto con la

calcita. Se ha demostrado que la carbonatación puede ocurrir no solo por CO<sub>2</sub> atmosférico, sino también por CO<sub>2</sub> presente en el suelo. Durante la carbonatación, se libera agua atrapada en la portlandita y otros hidratos, lo que cambia el volumen sólido total de la pasta de cemento, afectando la porosidad y las propiedades de transporte.

Un modelo termodinámico de carbonatación del cemento hidratado puede predecir los cambios de pH y la desestabilización de productos como la portlandita, el gel C-S-H, la etringita y las fases AFm6. Las interacciones entre el CO<sub>2</sub> y estos productos están controladas por el pH de la solución de poros y la cantidad de CO<sub>2</sub> disponible, incrementando el volumen de CaCO<sub>3</sub> y, en menor medida, de otros minerales a medida que avanza la carbonatación.

**Figura 2**

Proceso de desarrollo de la reacción de carbonatación en el concreto.



Fuente: Salazar, (2023)

La tasa de carbonatación del concreto varía bajo condiciones naturales “abiertas” o “cerradas” debido a factores como la frecuencia de la lluvia y el grado de saturación de los poros. La humedad relativa interna, la temperatura y los niveles de humedad influyen en la difusión del CO<sub>2</sub> y las reacciones químicas de la carbonatación. En ambientes con humedad relativa entre 55% y 80%, la saturación parcial de los poros puede acelerar la carbonatación, mientras que niveles muy bajos o altos de humedad relativa pueden ralentizar el proceso.

En condiciones de exposición natural “abierta”, la carbonatación está influenciada por la cantidad de lluvia, la humedad relativa y la temperatura. Días con más de 2,5 mm de lluvia afectan significativamente la carbonatación. En climas tropicales, la profundidad de carbonatación es dos o tres veces mayor que en climas templados. La concentración de CO<sub>2</sub>, incluso tan baja como 0,03%, puede causar

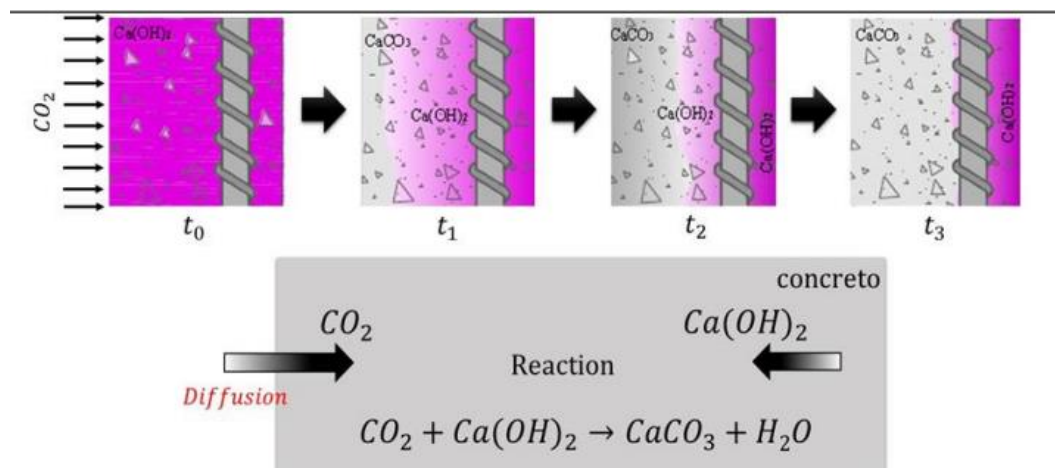


carbonatación rápida en concreto permeable, especialmente en áreas con poca ventilación, como estacionamientos y túneles. Además, agua con más de 20 ppm de CO<sub>2</sub> puede acelerar la carbonatación de la pasta de cemento.

El aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> es una práctica común para acelerar la carbonatación y evaluar el desempeño de diferentes mezclas de concreto. La temperatura también juega un papel crucial: temperaturas más altas aceleran la carbonatación, pero temperaturas muy altas disminuyen la solubilidad de la portlandita y el CO<sub>2</sub> en el agua. La tasa de carbonatación aumenta significativamente entre 20 °C y 40 °C, mientras que la disminución de la tasa cuando la temperatura baja de 20 °C a 10 °C es menos pronunciada. Además, la temperatura afecta la estabilidad de los polimorfos de carbonato de calcio producidos durante la carbonatación.

**Figura 3**

Proceso esquemático de la carbonatación en el concreto.



Label:

■ Non – carbonated zone    ■ Partially carbonated zone    ■ Carbonated zone

Fuente: Salazar, (2023)

En el texto de Muñoz y Henao (2023), se trató sobre la carbonatación en estructuras de concreto reforzado, un fenómeno patológico que puede llevar a la corrosión del acero de refuerzo y, por ende, a la pérdida de resistencia de las estructuras. Se abordó cómo este problema puede ser atendido mediante buenas prácticas de diseño y construcción, así como por medio de rehabilitaciones posteriores.

Se identificaron las causas y consecuencias de la carbonatación en diferentes ambientes y cómo afectan los elementos estructurales. También se discutieron

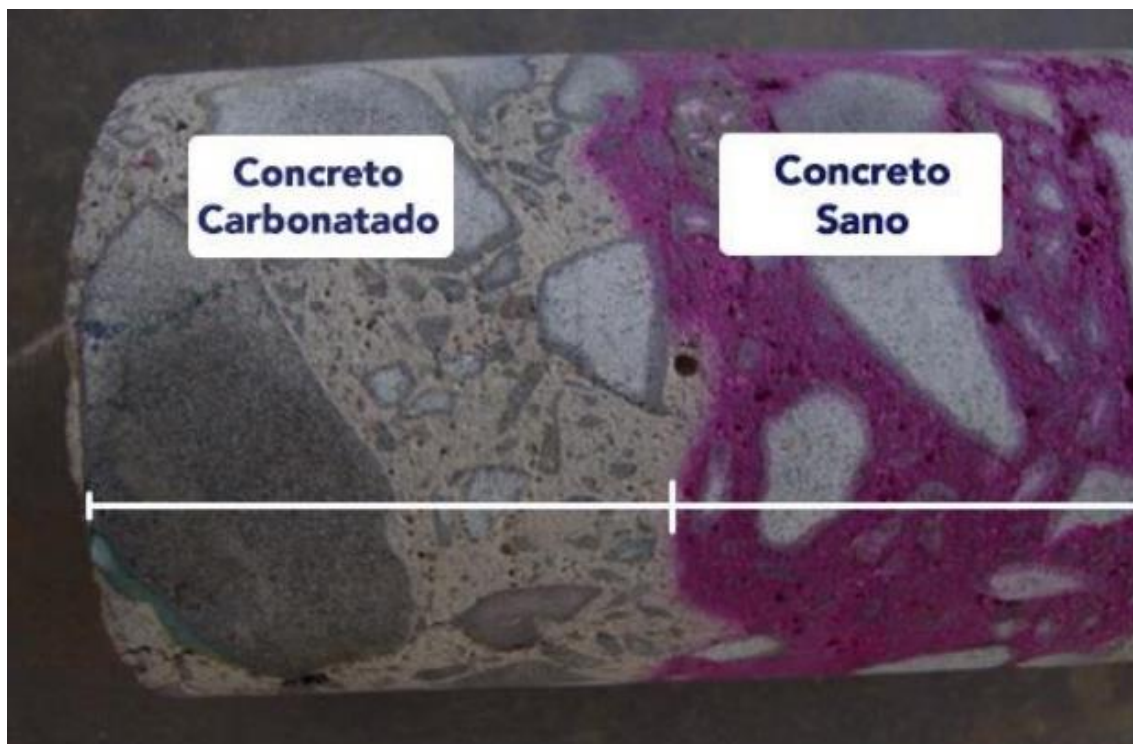
diversas metodologías de rehabilitación enfocadas en prolongar la vida útil de las estructuras. Es fundamental aplicar diseños y prácticas adecuadas para prevenir la corrosión, como el uso de revestimientos y capas pasivadoras en el acero.

Para los autores, la carbonatación avanza lentamente y depende de la ubicación del proyecto, lo que hace necesario un análisis detallado de los factores que influyen en el daño estructural, destacando la corrosión como el principal factor. Se mencionó que las estructuras pueden estar expuestas a agentes químicos o físicos negativos desde su construcción, afectando su capacidad de soportar cargas y su resistencia.

Además, el texto enfatizó la importancia de estudiar y analizar los daños en las estructuras de concreto reforzado, conociendo las diferentes alternativas de reparación o repotenciación para mantener o extender la vida útil de las estructuras y proteger la vida humana.

#### Figura 4

Prueba química de fenolftaleína.



Fuente: Muñoz y Henao, (2023)

Los autores también se refirieron a la importancia del diseño y mantenimiento adecuado de las estructuras para asegurar su funcionalidad y prolongar su vida útil.

Para esto, resulta crucial definir desde el inicio el diseño de la mezcla de cemento y los recubrimientos del acero de refuerzo según el tiempo de vida útil proyectado.

Según los autores, también es necesario tomar en cuenta que en los manuales de mantenimiento se especifican los tiempos para inspecciones y mantenimientos predictivos y preventivos, siendo esencial que los diseñadores y constructores proporcionen esta documentación. El principal método para detectar la carbonatación es medir la profundidad a través del pH, y aunque hay avances tecnológicos, sigue siendo el más confiable. Además, el ensayo de alcalinidad es crucial para determinar los tratamientos adecuados cuando se detecta corrosión en el refuerzo.

Además, no todas las áreas de una estructura se deterioran al mismo ritmo, por lo que es necesario realizar estudios y análisis sectorizados para aplicar tratamientos preventivos o correctivos específicos. Las obras de rehabilitación deben considerar el comportamiento futuro de la estructura para aumentar su vida útil, y las zonas no rehabilitadas deben recibir tratamientos preventivos.

Por ello dijeron que, al proyectar una estructura, es fundamental considerar el grado de exposición al que estará sometida, ya que esto influye en las características del diseño de la mezcla de concreto, la relación agua-material cementante, la resistencia a la compresión, el tipo de cemento, el uso de aditivos y el espesor del recubrimiento del acero de refuerzo.

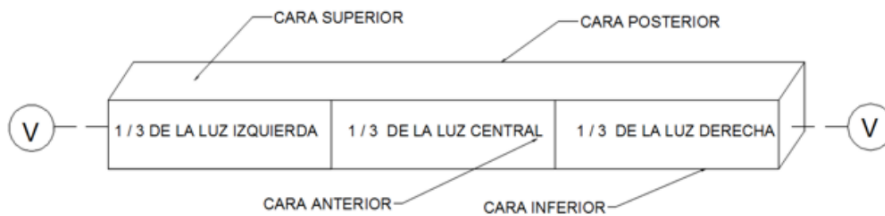
Peña et al., (2023), describieron los problemas de durabilidad y seguridad en las estructuras de concreto armado, principalmente debido a la corrosión. Su estudio se desarrolló en el contexto venezolano y pudieron observar que las patologías en edificaciones han aumentado por factores como la falta de mantenimiento y el mal uso de materiales.

Según los autores, la carbonatación, una reacción química causada por el dióxido de carbono en presencia de agua, reduce el pH del concreto y contribuye a la corrosión. En Nirgua, estado Yaracuy, se ha registrado un alto valor de la constante de carbonatación, indicando un ambiente agresivo. Esto provoca daños como grietas y de laminación del acero en las estructuras de concreto armado. La investigación en cuestión se centró en la inspección visual y el levantamiento de daños por carbonatación en estructuras de más de 20 años en Nirgua, con el fin de diagnosticar patologías y cuantificarlas mediante análisis estadístico. Los investigadores

expresaron estar convencidos de que sus resultados ayudarán a investigadores y constructores a desarrollar nuevas técnicas de construcción y mantenimiento para mejorar la durabilidad de las estructuras.

**Figura 5**

Sectorización de las vigas analizadas.



Fuente: Peña et al., (2023)

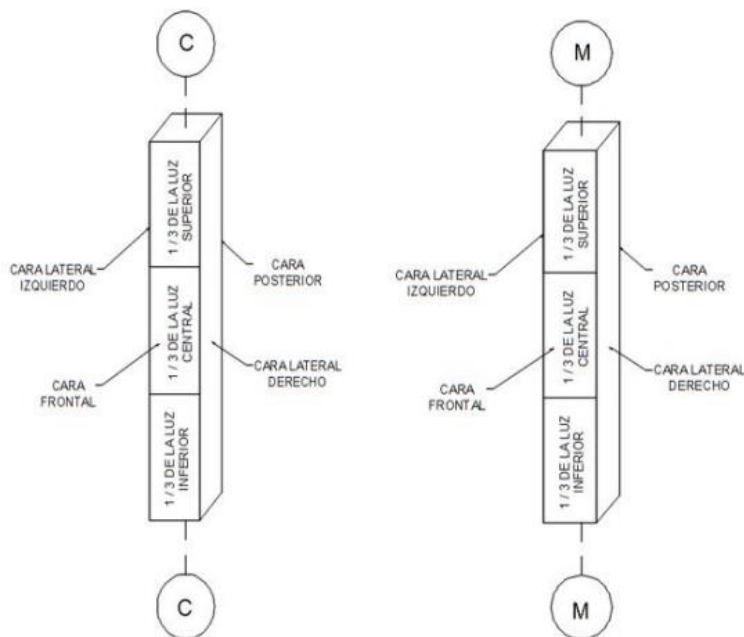
Los investigadores presentaron los resultados y en ellos encontraron que el 76.8% de las estructuras inspeccionadas mostraron daños, principalmente por falta de control de calidad en el diseño del concreto, nivel freático alto, alta constante de carbonatación ( $K=8.32 \text{ mm/años}^{0.5}$ ), y falta de mantenimiento. En la zona A, el 80.6% de las estructuras presentaron daños, mientras que en la zona B, el 73.4% fueron dañadas. La proximidad de la zona A una autopista transitada, que aumenta la emisión de CO<sub>2</sub>, es una posible causa del mayor daño.

Las estructuras más antiguas mostraron una mayor incidencia de daños por corrosión. En la zona A, las grietas fueron el daño más frecuente (33.33%), mientras que en la zona B predominó otro tipo de daños (22.78%). Los daños se ubicaron principalmente en la parte inferior de las columnas y fachadas, y fueron causados por infiltración de agua y mala calidad del concreto.

Se observó que la carbonatación, acelerada por altos niveles de CO<sub>2</sub>, humedad relativa y temperatura, es un proceso continuo que aumenta con el tiempo y afecta más a las estructuras viejas. La investigación sugiere la necesidad de una inspección visual y diagnóstico preliminar para identificar y clasificar los daños, y la realización de ensayos más rigurosos para determinar las causas exactas de los problemas.

**Figura 6**

Sectorización de las columnas analizadas.



Fuente: Peña et al., (2023)

Además, el estudio reveló que, de 151 estructuras inspeccionadas, 116 presentaban fallas o daños, principalmente por carbonatación y corrosión. En la zona A, más del 50% de las edificaciones con daños mostraron síntomas de corrosión, mientras que en la zona B, menos del 50% presentaron estos síntomas. Las grietas, ubicadas a un tercio de la luz inferior de las columnas y manchones y en la parte inferior de las fachadas, fueron el principal daño en la zona A, causado por factores como precipitaciones, humedad, falta de control de calidad, mala compactación y granulometría, separadores constructivos de acero, nivel freático alto y un alta constante de carbonatación ( $K=8.32 \text{ mm/años}^{0.5}$ ).

La cercanía de la zona A la Troncal Once, una autopista con intenso tráfico vehicular contribuye a un mayor daño por corrosión en comparación con la zona B. Aunque la carbonatación desencadena la corrosión en la zona A, otros tipos de daños también son comunes en ambas zonas. El deterioro aumenta con la edad de las estructuras debido a la exposición ambiental prolongada.

Para evitar la penetración de sustancias dañinas, se recomendó utilizar tecnología que asegure un concreto con baja porosidad, aumentando su impermeabilidad y reduciendo el transporte de sustancias. Además, los

procedimientos gerenciales en la construcción deben incluir diseños que prioricen la durabilidad.

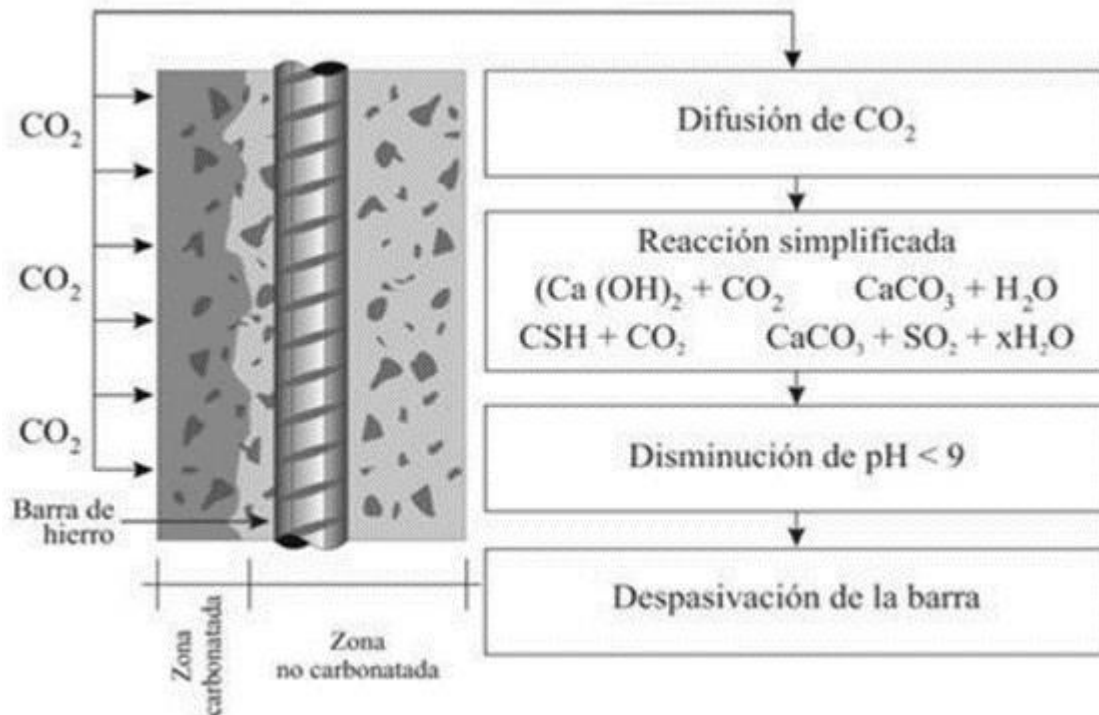
Castillo y Ramírez (2024), estudiaron la vulnerabilidad de las estructuras de concreto a diversas fallas, especialmente la corrosión, que representa un riesgo significativo para su durabilidad y seguridad. La contaminación atmosférica, producto de actividades humanas como la industria y el transporte, acelera la corrosión del metal de refuerzo en el concreto, contribuyendo al deterioro de las edificaciones. El concreto hidráulico, utilizado en construcciones, es resistente, pero su exposición a ambientes marinos lo hace susceptible a daños debido a la presencia de sulfatos y cloruros en el agua de mar.

Un fenómeno clave que afecta la durabilidad del concreto, según los autores, es la carbonatación, un proceso donde el dióxido de carbono atmosférico, en presencia de agua, reduce el pH del concreto, promoviendo la corrosión del acero de refuerzo. La carbonatación se ve influenciada por factores ambientales, como la humedad y la concentración de CO<sub>2</sub>, y factores intrínsecos del concreto, como su porosidad.

En su texto, los investigadores destacan la importancia de comprender estos procesos de degradación, especialmente en infraestructuras costeras, para desarrollar estrategias de mitigación y prolongar la vida útil de las estructuras. Por ello, los investigadores, se propusieron estudiar la carbonatación en concreto hidráulico expuesto a ambientes marinos y explorar técnicas de mitigación, como la adición de inhibidores de carbonatación y la mejora de la calidad del concreto. Además, se ofrecieron recomendaciones para el diseño y construcción de estructuras en estos entornos, considerando el impacto de la carbonatación en su durabilidad y resistencia.

**Figura 7**

Esquema explicativo del proceso químico de la carbonatación.



Fuente: Castillo y Ramírez, (2024)

Los investigadores siguieron profundizando en los aspectos teórico y explicaron que la carbonatación del concreto es un proceso natural donde el dióxido de carbono del aire reacciona con el hidróxido de calcio en el cemento, formando carbonato de calcio. Este proceso es acelerado en ambientes marinos debido a la presencia de iones de cloruro, lo que puede causar corrosión en las armaduras del concreto, afectando su resistencia y durabilidad.

La carbonatación ocurre cuando el CO<sub>2</sub> penetra en la estructura porosa del concreto, reaccionando con los productos de la hidratación del cemento y disminuyendo el pH de la solución de poros. En este aspecto, la impermeabilidad del concreto es crucial para evitar la entrada de agua y agentes que degradan la estructura, como el CO<sub>2</sub> y el oxígeno. La permeabilidad del concreto está determinada por su estructura porosa, influenciada por factores como la porosidad total, la distribución del tamaño de los poros, la relación agua-cemento, y el uso de aditivos.

Un curado adecuado del concreto es fundamental para reducir su porosidad, dificultar la penetración del dióxido de carbono, y así ralentizar la carbonatación. Esto mejora la durabilidad estructural, especialmente en ambientes agresivos. En

resumen, el proceso de curado es esencial para mejorar la durabilidad del concreto y su resistencia a la carbonatación, particularmente en entornos donde la longevidad de la estructura es crítica.

Además, los autores proveyeron algunos sistemas de protección para concreto centrándose en la protección catódica como una técnica electroquímica utilizada para prevenir la corrosión de metales al modificar su potencial electroquímico, haciéndolos menos susceptibles a la corrosión. Esta técnica se implementa a través de dos métodos principales: **ánodos de sacrificio** y **corriente impresa**.

- **Ánodos de sacrificio:** Consiste en conectar un metal con un potencial de corrosión menor al del metal que se desea proteger, haciendo que el ánodo se corra en lugar del metal principal, preservando así la integridad de la estructura.
- **Corriente impresa:** Aplica una corriente eléctrica externa para convertir el metal en una zona catódica, reduciendo su susceptibilidad a la corrosión. Esta técnica es especialmente útil en hormigón armado expuesto a cloruros.

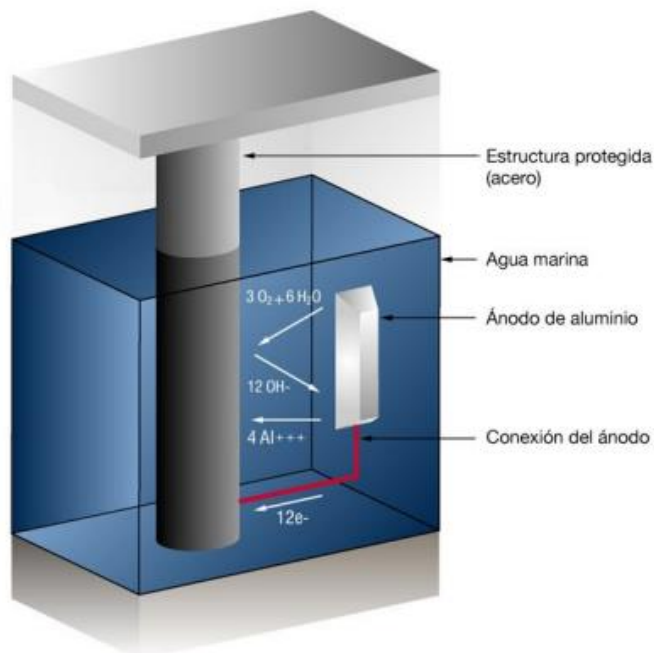
Además de la protección catódica, los investigadores mencionaron el uso de **recubrimientos** como barreras protectoras que evitan el contacto directo entre el metal y el ambiente corrosivo. Estos recubrimientos pueden ser orgánicos, metálicos, o inorgánicos, cada uno ofreciendo diferentes niveles de protección y aplicándose en función de las necesidades específicas de la estructura.

Finalmente, los **inhibidores de corrosión** son aditivos químicos que se agregan al entorno del metal para reducir la velocidad de corrosión. Su efectividad depende de varios factores, incluyendo la composición del medio y la dosificación adecuada. Sin embargo, cabe recalcar que estas técnicas se encontraban netamente enfocadas a la protección del acero de refuerzo.



**Figura 8**

Sistema de protección para el concreto por ánodo de sacrificio.



Fuente: Castillo y Ramírez, (2024)

Rojas (2022), El crecimiento vehicular en Quillabamba ha aumentado la contaminación ambiental, lo que contribuye a la patología de la carbonatación en estructuras de concreto, afectadas por el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y la humedad. El objetivo de la investigación fue evaluar la carbonatación en concretos usando agua de tres sectores diferentes (Quillabamba, Ajuajuyoc y Pintobamba) y su impacto en la resistencia a la compresión. En el estudio del autor se construyó una cámara de carbonatación acelerada para comparar los concretos elaborados, encontrando que el concreto hecho con agua de Quillabamba presenta menor carbonatación. La investigación se basó en la norma RILEM CPC-18 y estudios previos.

La patología del concreto estudia los defectos y daños que afectan la estructura del concreto, sus causas, consecuencias y posibles remedios. Estos problemas pueden surgir desde la construcción, durante la vida útil del concreto o por accidentes, manifestándose en síntomas como manchas, fisuras y pérdida de masa. Para diagnosticar estos problemas, es necesario realizar una investigación que incluye el análisis del historial de la estructura, inspección visual, pruebas no destructivas y revisión de los materiales y métodos utilizados en la construcción. Un caso específico de patología es la carbonatación, donde el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) reacciona con

el hidróxido de calcio en el concreto, reduciendo su pH y potencialmente causando corrosión en el acero de refuerzo.

La alta alcalinidad del hormigón, que protege al acero de refuerzo mediante la formación de una capa de óxidos pasavantes, se debe a la portlandita y a los hidróxidos de sodio y potasio presentes en el cemento. Esta alcalinidad se encuentra en un pH entre 12,6 y 14. Sin embargo, la alcalinidad puede disminuir debido a la reacción de estos hidróxidos con compuestos ácidos como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en la atmósfera, proceso conocido como carbonatación. El  $\text{CO}_2$  penetra en el hormigón a través de poros no saturados, reaccionando con iones de calcio para formar carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), lo que descalcifica el gel de C-S-H y puede conducir a la formación de gel de sílice hidratado y a la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  en forma de calcita, aragonito o vaterita.

#### **2.1.2.1.1 Comprobación de la Carbonatación con Reactivos.**

El hormigón, de acuerdo con Chinchón (2021), está compuesto por áridos y cemento hidratado, se fortalece con la adición de barras de acero, formando hormigón armado. La hidratación del cemento produce compuestos como hidróxidos de sodio, potasio y calcio (portlandita), que confieren al hormigón un pH elevado (aproximadamente 12,5). Este pH alto protege el acero de refuerzo con una capa pasavante que previene su oxidación.

No obstante, la portlandita no es permanente y se descompone con el tiempo debido a la reacción con compuestos ambientales, especialmente  $\text{CO}_2$ , en un proceso conocido como carbonatación. Durante la carbonatación, el hidróxido de calcio se convierte en carbonato de calcio, lo que inicialmente puede cerrar los poros del hormigón, pero eventualmente puede exponer el acero a la corrosión si el pH cae por debajo de 9.

Para medir la carbonatación, se utiliza fenolftaleína, un indicador de pH que cambia de incoloro a púrpura dependiendo del pH. Sin embargo, la fenolftaleína es tóxica y se están buscando alternativas más seguras. Entre las alternativas propuestas están el azul de bromotimol y la curcumina, además de pigmentos naturales como las betalaínas y antocianinas, que podrían servir como indicadores de carbonatación en morteros y hormigones.

En el texto del autor se evidenció como se probaron diversos extractos y colorantes naturales para evaluar su eficacia en la identificación de áreas carbonatadas en hormigón. Los extractos caseros y comerciales tendieron a teñir el hormigón con reserva alcalina en verde y la zona carbonatada en azul. Para estandarizar el método, se experimentó con cuatro colorantes naturales regulados en la Unión Europea: tres antocianinas (E-163) —Grape Red Shade (uva), Red Cabbage (col roja) y Black Carrot (zanahoria negra)— y un colorante de betalaínas (E-162) —remolacha roja. Estos colorantes se obtienen por extracción y deshidratación. Las soluciones de estos colorantes se probaron en morteros parcialmente carbonatados y luego en muestras de hormigón con distintos grados de carbonatación, para determinar la mejor dosificación y disolvente.

Las pruebas con diferentes pigmentos para identificar la carbonatación en hormigón llevaron a la conclusión de que una disolución al 2,5% de pigmento en una mezcla de etanol y agua (70/30) es la más efectiva. Concentraciones menores producen una coloración menos intensa, mientras que concentraciones mayores no mejoran significativamente la detección. Se compararon diversos colorantes en morteros, revelando que solo los pigmentos de antocianinas (uva y col lombarda) resultan adecuados para este propósito, mientras que la remolacha roja, con betalaínas, no es efectiva debido a su funcionamiento en pH ácidos. Las disoluciones de uva y col lombarda ofrecieron el mejor contraste entre áreas carbonatadas (azul) y no carbonatadas (verde). Sin embargo, se observó que el pigmento de uva puede oxidarse con el tiempo, cambiando su color a marrón. La col lombarda mostró una clara distinción entre zonas carbonatadas y no carbonatadas, aunque la diferencia cromática puede ser menos perceptible en hormigón húmedo. Ambos pigmentos nuevos se comportaron de manera similar a la fenolftaleína en cuanto a la detección de carbonatación.

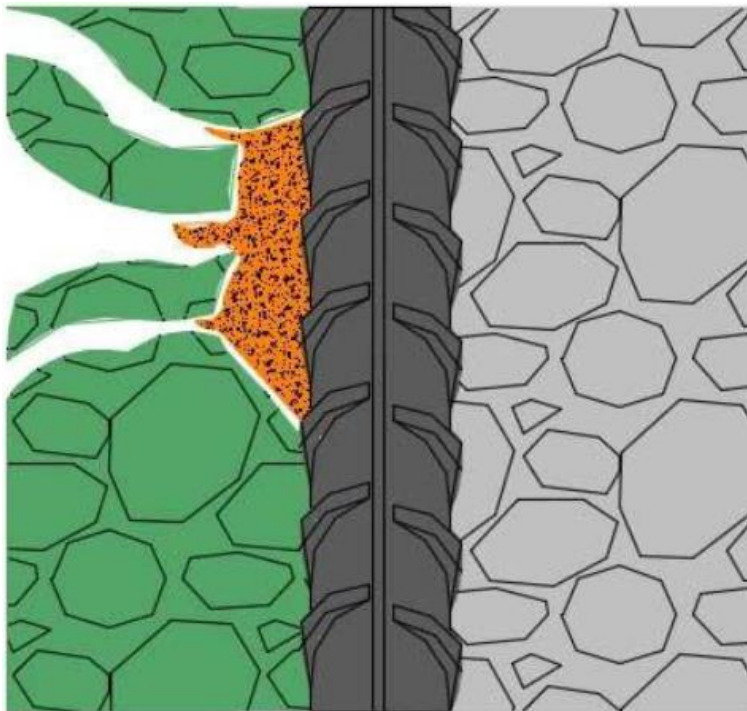
Concluyendo, el autor mostró que se prepararon soluciones con cuatro colorantes alimentarios, obtenidos por extracción y deshidratación, comercializados en la Unión Europea. Tres de estos colorantes (Grape Powder EV-12, Red Cabbage Powder EV-20 y Black Carrot EV-12) contienen antocianinas y son adecuados para estudiar la carbonatación en morteros y hormigones de cemento portland. El cuarto colorante, la remolacha roja, contiene betalaínas y no es adecuado para estos estudios. Las soluciones óptimas tienen un 2,5% de pigmento disuelto en una mezcla

de alcohol y agua (70/30). Estas soluciones pueden sustituir a la fenolftaleína para diferenciar entre áreas carbonatadas y con reserva alcalina en hormigones, siendo además inofensivas.

El texto de Iraola et al., (2024), abordó el uso del hormigón armado en la construcción, destacando su durabilidad y la resistencia que aporta el acero en su estructura, especialmente en la tracción y confinamiento. En Cuba, como en otros lugares, el hormigón es fundamental en la construcción, pero su exposición al ambiente lo hace susceptible a deterioro, particularmente por carbonatación, un proceso en el que el dióxido de carbono penetra en el hormigón y disminuye su pH, lo que puede provocar la corrosión de las barras de acero.

**Figura 9**

Una consecuencia de la carbonatación es la corrosión del acero.



Fuente: Iraola et al., (2024)

El caso específico del Hotel Colonial Cayo Coco se presentó como un ejemplo donde el hormigón ha sufrido deterioro significativo debido a años de exposición y mantenimiento insuficiente. El estudio propone evaluar y reparar las patologías del hormigón afectado por carbonatación, utilizando ensayos semidestructivos para medir el pH y diagnosticar el estado del material.

El proceso de carbonatación fue explicado como la transformación de compuestos en el hormigón en carbonato de calcio debido a la exposición al CO<sub>2</sub>, lo

que reduce el pH y rompe la capa protectora de las barras de acero, facilitando la corrosión. Además, el texto explicó el uso de la fenolftaleína como indicador de pH para detectar la carbonatación en el hormigón. La fenolftaleína cambia de incolora a color rosado cuando el pH del hormigón es superior a 9, indicando que está sano. Si el pH es menor, no se produce ningún cambio de color, lo que puede indicar carbonatación. En la investigación, se utilizó el equipo ExStikConcrete pH Kit modelo PH150-C para medir el pH en diversas áreas del hormigón, siguiendo un método de evaluación establecido por la Red Iberoamericana XV.B.

Haro (2022), analizó la problemática ambiental del uso de áridos naturales en la fabricación de hormigón, destacando la explotación excesiva de canteras. Propuso la revalorización de residuos de demoliciones como alternativa para reducir el impacto ambiental. Se presentaron estudios y normativas de varios países que apoyan el uso de áridos reciclados en la construcción, destacando que en Ecuador, aunque no existen regulaciones específicas, se han realizado investigaciones exitosas en laboratorio. El texto del investigador describió un proyecto que buscaba procesar áridos reciclados de demoliciones reales para fabricar hormigón, con el objetivo de producir bordillos prefabricados que cumplan con las normas nacionales, usando sustituciones de áridos naturales por reciclados en diferentes proporciones.

Al respecto de cómo detectar la carbonatación del hormigón, el investigadora comenzó diciendo que esta ocurre cuando el CO<sub>2</sub> atmosférico neutraliza la matriz de cemento, lo que puede llevar a problemas de corrosión, incluso en hormigones de alta resistencia. La fenolftaleína al 1% se utiliza como prueba para detectar carbonatación; cuando se aplica al hormigón, este debería tomar una coloración rosa si está alcalino y no carbonatado. Si el hormigón no cambia de color, indica que el pH ha descendido y la protección se ha perdido. Esta prueba se usó para evaluar visualmente la carbonatación en hormigón expuesto al exterior durante 50 años, así como para verificar el comportamiento del árido reciclado en el material.

#### **2.1.2.2 Microesferas Huecas.**

De acuerdo con Gómez (2019), en su texto abordó la temática del uso del cemento en la industria de la construcción, destacando sus propiedades como resistencia, durabilidad y bajo costo. Sin embargo, señaló que su proceso de fabricación es altamente contaminante. Para mejorar el concreto y reducir la cantidad de cemento utilizado, se han investigado adiciones como humo de sílice, escoria de

alto horno, puzolanas naturales y cenizas volantes, las cuales mejoran la resistencia, manejabilidad y reducen la permeabilidad del concreto.

Además, se mencionó que las microesferas de vidrio huecas (HGM) han sido estudiadas por sus propiedades como material de relleno, agente reductor de peso, aislante térmico y aditivo para trabajar a altas temperaturas, principalmente en compuestos poliméricos. Aunque hay investigaciones sobre el efecto de las HGM en la resistencia a la compresión y la disminución de densidad del concreto, otras propiedades en estado endurecido, como resistencia a la flexión y tracción, y en estado fresco, como la viscosidad y manejabilidad, aún no han sido suficientemente exploradas.

**Tabla 2**

Compuestos presentes en las microesferas de vidrio.

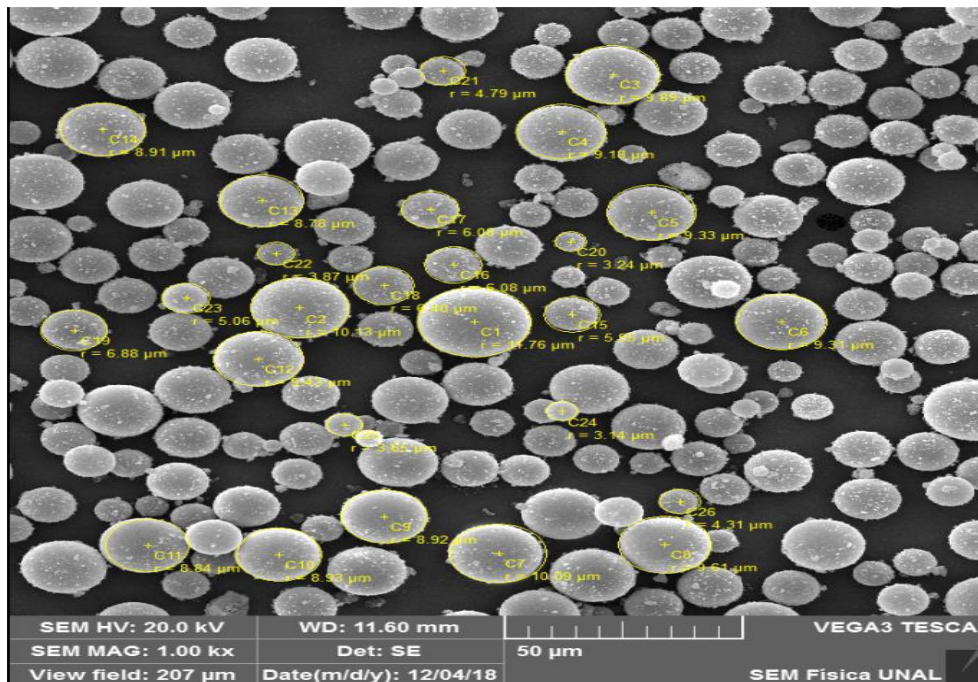
<b>Elemento y/o Compuesto</b>	<b>(% en peso)</b>
SiO <sub>2</sub>	79,26%
CaO	14,70%
Na <sub>2</sub> O	4,78%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,49%
SO <sub>3</sub>	0,30%
MgO	0,28%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02%
TiO <sub>2</sub>	0,02%
Zr	0,01%
K <sub>2</sub> O	79 ppm
Sr	32 ppm

Fuente: Gómez, (2019)

El texto además describió el enfoque de estudiar el uso de microesferas de vidrio hueco (HGM) como reemplazo parcial del cemento en un 5% del peso del material cementante en concreto autocompactante (SCC).

**Figura 10**

Zoom 1000x sobre las microesferas de vidrio.



Fuente: Gómez, (2019)

Los principales hallazgos de la investigación incluyeron la composición química ya que, la sílice es el componente predominante en las HGM, lo cual es consistente con su uso en vidrio. También se encontraron cal y óxido de sodio. Las HGM también contenían propiedades reológicas dado que, el uso de HGM mejoró significativamente las propiedades reológicas del concreto autocompactante, aumentando la fluidez debido a su forma esférica.

En cuanto a las propiedades mecánicas, aunque las HGM generaron una resistencia a la tracción ligeramente superior, se observó una disminución en la resistencia a la compresión, flexión, y módulo de Young, en comparación con la muestra control. Además, con respecto a la resistencia a la penetración de cloruros, las HGM aumentaron la porosidad del concreto, lo que resultó en una menor resistencia a la penetración de iones cloruro. Finalmente, los resultados mostraron un comportamiento reológico puesto que, el SCC con HGM se comporta como un fluido reoespesante bajo el modelo reológico de Bingham modificado, indicando que su viscosidad aparente aumenta con el esfuerzo cortante.

En general, las HGM mejoran la fluidez del SCC, pero su uso requiere un ajuste en la cantidad de superplastificante y en la relación agua/cemento para evitar segregación y otros efectos adversos.

Valencia et al., (2019), trató el tema de la creciente demanda de infraestructura debido al aumento de la población y la urbanización, lo que ha incrementado la necesidad de materias primas para la construcción, como el cemento, agua y agregados. Esto ha generado un impacto ambiental negativo, por lo que se busca implementar políticas para limitar la explotación de recursos naturales y desarrollar nuevos materiales que aprovechen residuos industriales en la construcción.

Entre estos materiales alternativos, se destaca el uso de polímeros, como residuos de llantas, y microesferas de vidrio. Se ha estudiado cómo estos materiales pueden sustituir parcialmente a los agregados en el concreto, observándose que en el caso de los residuos de llantas, estos deducen la resistencia a la compresión del concreto, especialmente cuando se utilizan en altos porcentajes. Según los autores, los estudios consultados sugirieron limitar el reemplazo a menos del 25% para aplicaciones estructurales.

Para el caso de interés del presente proyecto de titulación, las microesferas de vidrio al reemplazar parcialmente el cemento o agregados finos, pueden aumentar la resistencia a la compresión y disminuir la densidad del concreto, aunque también pueden reducir el módulo de elasticidad.

**Tabla 3**

Relación en masa de cantidades de materiales en las mezclas analizadas, "M" corresponde a microesferas.

Mezcla*	RL:M	Masa finos (Kg)	Masa RL (Kg)	Masa M (Kg)
C**	--	765	0	0
M1	1:0	644	112	0
M2	0:1	644	0	112
M3	1:1	644	56	56
M4	3:1	643	84	28
M5	1:3	643	28	84

Fuente: Valencia et al., (2019)

Por otro lado, la combinación de residuos de llantas y microesferas de vidrio podría ofrecer un efecto sinérgico, mejorando las propiedades mecánicas del concreto modificado. Este estudio de los autores se centró en evaluar concretos donde un 15% de los agregados finos son reemplazados por una mezcla de estos residuos, con el objetivo de obtener materiales con propiedades comparables o superiores a las del concreto tradicional.



Para el diseño de las meclas de concreto se describió el proceso utilizando los métodos ACI 211.18 y RNL, con el objetivo de estudiar el efecto de reemplazar un 15% de la masa de arena con caucho, microesferas de vidrio, o una combinación de ambos. Se prepararon seis mezclas: una de referencia diseñada para alcanzar una resistencia a la compresión de 28 MPa a los 28 días, y cinco mezclas adicionales para evaluar el impacto de los materiales alternativos.

El proceso de preparación involucró humedecer el agregado grueso hasta alcanzar la condición de Saturado Superficialmente Seco (SSS). La mezcla inicial se realizó combinando el agregado grueso, la arena y los residuos de llantas, a la que posteriormente se le añadió cemento y agua. Después de obtener una pasta cohesiva y fluida, se incorporaron las microesferas de vidrio y el agua restante. Finalmente, se evaluaron las propiedades del concreto fresco mediante la prueba de asentamiento según la norma NTC 396.

De forma muy concreta, los autores concluyeron que la adición de estos materiales modificó las propiedades del concreto. La mejor resistencia a la compresión, de 22.4 MPa, se logró con la sustitución de agregados por microesferas de vidrio. Además, la combinación de residuos de llantas y microesferas en una proporción 1:3 mejoró significativamente la resistencia a la compresión. Se observó que el contenido de microesferas aumentó el asentamiento, y la densidad disminuyó con un mayor contenido de residuos de llantas. El módulo de elasticidad también aumentó con más microesferas. Aunque los resultados son prometedores, se requieren estudios adicionales para mejorar la resistencia del concreto modificado para su uso como material estructural.

De acuerdo con los investigadores Padilla et al., (2019), que realizaron un estudio para describir el concreto polimérico, un material compuesto que utiliza resinas termofijas y agregados inertes, a veces también es reforzado con fibra de vidrio. Sus principales ventajas incluyen alta resistencia mecánica, resistencia a agentes químicos y al medio ambiente, mínima absorción de agua, capacidad de aislamiento eléctrico y transparencia a radiaciones electromagnéticas.

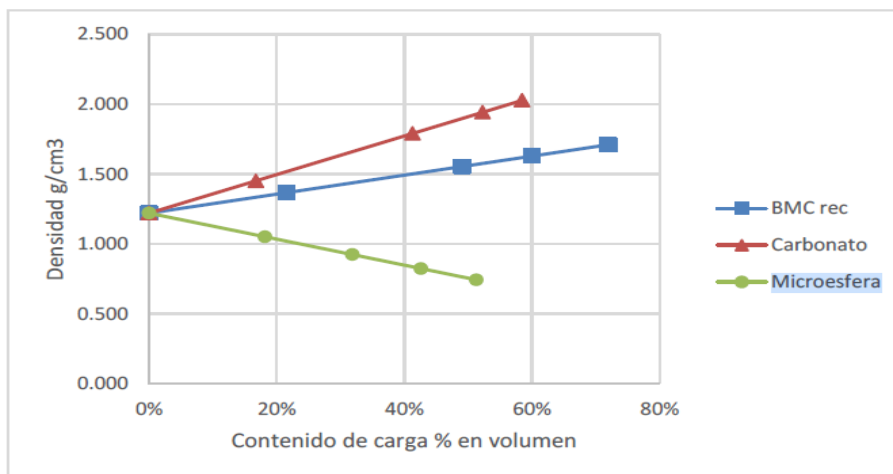
Los agregados inertes, que constituyen entre el 70% y 85% del peso del concreto polimérico, juegan un papel crucial en sus propiedades. Estudios citados por los autores indicaron que el concreto polimérico tiene una resistencia mecánica hasta

un 100% mayor que el concreto hidráulico Portland, y un peso específico hasta un 20% menor.

Las optimizaciones del concreto polimérico se enfocan en el tipo y contenido de carga, como arenas y microesferas de vidrio. La densidad del concreto polimérico está directamente relacionada con la densidad y contenido de los agregados. Cargas como BMC reciclado y carbonato de calcio aumentan la densidad, mientras que las **microesferas** la reducen significativamente, alcanzando densidades tan bajas como  $0.7 \text{ g/cm}^3$ .

**Figura 11**

Efecto de las cargas en la densidad del concreto polimérico.



Fuente: Padilla et al., (2019)

El texto analiza cómo la resistencia del concreto polimérico disminuye significativamente con el aumento del contenido de carga, siendo seis veces inferior a la resistencia de la resina pura cuando la carga alcanza el 50% en volumen. Se comparan tres tipos de concreto polimérico, cada uno con diferentes efectos sobre sus propiedades.

El uso de microesferas reduce la densidad del concreto, pero también disminuye su resistencia mecánica a niveles similares al concreto Portland, lo cual es poco favorable. El concreto con carbonato de calcio, debido a su alta densidad, ofrece mayor resistencia mecánica y un costo ligeramente superior al concreto con BMC (Bulk Molding Compound). El concreto con BMC reciclado, aunque presenta una resistencia mecánica un 18% inferior al de carbonato de calcio, es un 15% más barato. Se recomienda el uso de BMC reciclado en la elaboración de concreto polimérico, ya que contribuye a la reutilización de desechos y beneficia al medio ambiente.

Collaguazo y Sarmiento (2019), describieron los paneles sándwich con núcleos de nido de abeja como estructuras increíblemente fuertes y ligeras, que ahorran material y reducen costos en comparación con productos macizos. Aunque tradicionalmente se han usado en aplicaciones de alta tecnología, como en la industria aeroespacial, automovilística y naval, la evolución en la producción y la reducción de costos está llevando a su uso en áreas más amplias, como la construcción y el transporte.

Estos materiales ofrecen alta resistencia, tenacidad y buena disipación de energía. Sin embargo, debido a la complejidad de su composición, es difícil predecir su comportamiento mecánico. Se han realizado pocos estudios y simulaciones que exploren su respuesta a la flexión y compresión, aunque se están proponiendo soluciones analíticas con diferentes tipos de núcleos, como los de Nomex, reforzados con resina epoxi y fibra de carbono. Estos materiales han destacado por su capacidad para absorber energía y resistir impactos, lo que mejora su fiabilidad y sobre todo su vida útil. La caracterización y estudio de estos materiales es esencial para optimizar su diseño y fabricación, respondiendo así a las necesidades del sector industrial en la selección de materiales.

**Tabla 4**

Propiedades de las microesferas de vidrio según los autores.

Microesferas de vidrio		
Densidad	0.125	g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a la compresión	1.7	Mpa
Resistencia al aplastamiento	250	PSI
Tamaño de partícula	65	D50 Micras
Marca		3M -TM

Fuente: Collaguazo y Sarmiento, (2019)

Los autores también se refirieron al origen de las microesferas y explicaron que históricamente, el descubrimiento y desarrollo de las microesferas de vidrio huecas, inicialmente fueron encontradas en los años 50 y producidas industrialmente a partir de 1960. Estas microesferas, hechas de fritada de vidrio y compuestos como silicatos de sodio-cal o borosilicato de sodio, se crean mediante un proceso que involucra un agente espumante que libera gas a altas temperaturas (1100-1400 °C), lo que provoca la expansión de las gotitas de vidrio en esferas huecas. Estas microesferas se utilizan en estructuras tipo sándwich, que consisten en núcleos celulares hexagonales similares a un nido de abeja, rellenos de matriz epóxica y reforzados con

fibra de carbono. Las microesferas de vidrio de la marca 3M se destacan por su ligereza, resistencia a la temperatura, al agua y al aceite, así como por su buena relación fuerza-densidad, compatibilidad con diversos tipos de resina y larga vida útil.

En su texto los autores también describieron el proceso de preparación de una mezcla de resina epoxi, endurecedor y microesferas de vidrio para crear una espuma sintética en una tesis. Se calcularon las cantidades de resina y endurecedor en una proporción precisa de 10:7, junto con diferentes fracciones de volumen (20%, 30% y 40%) de microesferas de vidrio. La mezcla se realizó lentamente para evitar la introducción de aire y asegurar una homogeneidad completa. Posteriormente, la mezcla se sometió a un proceso de desgasificación en una cámara de vacío a 70 kPa durante 5 minutos, seguido de un período adicional de 4 minutos a la misma presión. Después, se retiraron las burbujas de aire (nata) de la superficie tres veces para asegurar la máxima eliminación de inclusiones de aire. Finalmente, se realizó un último mezclado para obtener una mezcla homogénea de la espuma sintética.

El uso de vidrio reciclado como reemplazo parcial del agregado fino (arena) en la producción de concreto fue abordado por el investigador Saldaña (2023), según cifras del autor, en 2021, la producción de concreto en España aumentó un 9.4%, reflejando su importancia en la construcción, a pesar de los impactos ambientales negativos asociados. La producción de cemento es responsable del 8% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>, y la extracción de arena enfrenta problemas como la escasez y conflictos internacionales. En Perú, la falta de control en las canteras y el manejo inadecuado de residuos sólidos, como el vidrio, también generan preocupaciones ambientales.

La investigación se centró en cómo el uso de vidrio reciclado puede influir positivamente en las propiedades físico-mecánicas del concreto, contribuyendo a la economía circular y reduciendo los impactos ambientales. Diversos estudios han mostrado que reemplazos parciales de cemento y agregados con materiales reciclados pueden mejorar la resistencia y durabilidad del concreto. La investigación tuvo justificación teórica, metodológica, económica, técnica, social y ambiental, y buscó determinar la influencia del reemplazo de agregado fino por vidrio reciclado en diversas propiedades del concreto, con la hipótesis de que este reemplazo tendrá un impacto óptimo en dichas propiedades.

En la primera parte de su trabajo, el autor presentó varios estudios sobre la influencia del reemplazo de agregados finos por vidrio reciclado u otros materiales en las propiedades físico-mecánicas del concreto. Los resultados de estos estudios mostraron cómo la adición de diferentes porcentajes de vidrio reciclado, PET, escoria de acero y otros materiales alternativos afecta la densidad, trabajabilidad, resistencia a la compresión, flexión y tracción del concreto en distintos períodos de curado (7, 14, 28, 56, 84, 120 días).

Algunos de los hallazgos clave del investigador incluyeron el vidrio reciclado, el cual mejoró la resistencia a la compresión y flexión en varios casos, aunque la densidad y trabajabilidad varían según el porcentaje de reemplazo. El polvo de vidrio y escoria de acero que incrementaron la resistencia a la compresión en el tiempo, especialmente con combinaciones específicas. Las microesferas de vidrio y caucho ofrecieron variaciones en la densidad y resistencia a la compresión, dependiendo de la mezcla. Los estudios indicaron que el reemplazo parcial de los agregados tradicionales por materiales reciclados podría mejorar ciertas propiedades del concreto, contribuyendo a la sostenibilidad en la construcción.

En la discusión de los resultados, el investigador presentó el análisis comparativo de los diversos estudios que revisó sobre el uso de vidrio reciclado en concreto. Expresó que la incorporación de vidrio reciclado en concreto afecta la densidad del material. Los estudios mostraron que al añadir vidrio reciclado (20% y 10%, respectivamente), la densidad disminuyó ligeramente en comparación con el concreto patrón. Estas densidades se mantuvieron dentro de los parámetros de concreto normal.

Por otra parte, el contenido de aire en el concreto aumentó con la incorporación de vidrio reciclado. Los estudios mostrarán incrementos significativos en el contenido de aire con mayores porcentajes de vidrio reciclado, similar a los resultados obtenidos en la investigación actual.

La incorporación de vidrio reciclado también influyó en el asentamiento del concreto. Mientras algunos estudios reportaron un aumento en el asentamiento, otros encontraron una reducción con polvo de vidrio, lo que indicó una variabilidad en los efectos según el tipo de vidrio reciclado utilizado.

Mientras tanto, la resistencia a la compresión del concreto mejoró con la adición de vidrio reciclado. Comparado con el concreto patrón, varios estudios reportaron un aumento en la resistencia a la compresión con diferentes porcentajes de vidrio reciclado. En el mismo ámbito, la resistencia a la abrasión (RAF) del concreto tuvo tendencia a disminuir ligeramente con el aumento de vidrio reciclado, aunque en algunos estudios se observó un incremento en la RAF con ciertos porcentajes de vidrio. Al tiempo que, la resistencia a la tracción (RAT) del concreto suele disminuir con el incremento del vidrio reciclado. Sin embargo, se encontraron incrementos en la RAT con la incorporación de polvo de vidrio en diferentes edades.

En general, el uso de vidrio reciclado en concreto muestra un impacto variado en sus propiedades, con mejoras en la resistencia a la compresión pero posibles reducciones en la densidad, resistencia a la abrasión y resistencia a la tracción.

La investigación contó con tres variables principales. La primera variable es el reemplazo de agregado fino por vidrio reciclado (AFVR). Se detalló que los agregados, que constituyen entre el 60-80% del volumen del concreto, se clasifican en finos y gruesos según el tamaño de las partículas. El vidrio reciclado es no biodegradable y, por tanto, es utilizado en la construcción para crear materiales más ecológicos y económicos, además de reducir la huella de carbono y el consumo de recursos naturales.

La segunda variable fueron las propiedades físicas del concreto, incluyendo densidad, trabajabilidad y contenido de aire. La densidad se determinó según la masa de la mezcla y el volumen del molde, mientras que el contenido de aire se refirió al porcentaje de aire presente en la mezcla, que debe ser mínimo para no afectar sus propiedades. La granulometría y el índice de finura también fueron importantes para evaluar la calidad del agregado. La trabajabilidad se relaciona con la facilidad de manipulación del concreto en estado fresco, incluyendo procesos como la colocación, transporte y compactación.

La tercera variable fueron las propiedades mecánicas del concreto, como la resistencia, que se mide en términos de esfuerzo (MPa o kg/cm<sup>2</sup>). La relación agua/cemento (a/c) es crucial para determinar la resistencia del concreto; una menor relación a/c generalmente implica mayor resistencia. Estas propiedades se evaluaron en concreto endurecido a través de probetas curadas durante diferentes días.

El autor evaluó la validez de varias hipótesis específicas relacionadas con el uso de Agregado Fino de Vidrio Reciclado (AFVR) en concreto y comprobó que reemplazar el 20% de agregado por AFVR mejoró la densidad del concreto en un 1.2%, confirmando la hipótesis 1 como correcta. Reemplazar el 25% del agregado por AFVR aumentó el contenido de aire en un 42.9%, lo que contrastó con la hipótesis 2 planteada, haciéndola incorrecta. Con un reemplazo del 15% de AFVR, la trabajabilidad del concreto se mantuvo constante, lo que contradujo la hipótesis 3 de que habría un cambio significativo, haciéndola incorrecta. Reemplazar el 20% del agregado por AFVR mejoró la resistencia a la compresión en un 21% a los 28 días, validando la hipótesis 4 como correcta. Reemplazar el 15% del agregado por AFVR incrementó la resistencia a la flexión en un 6.3% a los 28 días, confirmando la hipótesis como correcta. Reemplazar el 15% del agregado por AFVR aumentó la resistencia a la tracción en un 12.9% a los 28 días, validando la hipótesis como correcta.

La comprobación de la hipótesis general de la investigación mostró que el uso de AFVR tuvo una influencia óptima en parámetros físicos y mecánicos, como densidad, resistencia a la compresión, flexión y tracción, aunque afectó negativamente el contenido de aire y la trabajabilidad. La hipótesis general fue correcta al considerar los resultados positivos en la mayoría de los parámetros.

### **2.1.2.3 Aislante Térmico.**

Ortiz et al., (2020), explicó la importancia de integrar parámetros mecánicos como resistencia a la tracción, tenacidad y rigidez en el desarrollo de materiales de construcción, específicamente en el uso de fibras en concreto. Destacó que las fibras de polipropileno se han utilizado ampliamente en el refuerzo de morteros y hormigones para mejorar la resistencia al impacto, controlar la figuración por retracción y reducir pérdidas de material en hormigones proyectados. En las últimas décadas, el uso de fibras en concreto premezclado ha incrementado, optimizando su comportamiento mecánico y ofreciendo una alternativa técnica y económica a las fibras de acero tradicionales. Como parte de una investigación, se seleccionó un sitio en la provincia de Manabí, Ecuador, para analizar comparativamente hormigones reforzados con fibras de polipropileno, utilizando agregados locales y evaluando la resistencia del material en la construcción vial.

El texto describe un estudio sobre la resistencia a la compresión del hormigón, siguiendo la norma ASTM C39/C39M-18, con un diseño que empleó una relación agua-cemento de 0,48. Se evaluaron probetas de hormigón con y sin fibras de polipropileno fibriladas y de microfilamento fino, realizando pruebas de compresión a los 7, 14 y 28 días.

El hormigón sin fibras alcanzó el 96.94% de su resistencia de diseño a los 28 días, mientras que el hormigón con 10 kg/m<sup>3</sup> de fibras logró un 102.92%, y con 20 kg/m<sup>3</sup> de fibras, un 113.75%. Estos resultados indican que la adición de fibras mejora significativamente la resistencia y durabilidad del hormigón, reduciendo la aparición de fisuras y aumentando la compactación. Además, se constató que la arena utilizada tenía mínimas impurezas orgánicas, lo que la hacía adecuada para su uso en la mezcla de hormigón.

De acuerdo con González (2020), el hormigón es un material fundamental en la construcción moderna, presente en una amplia variedad de estructuras. Sin embargo, el diseño de las mezclas de hormigón, especialmente en cuanto a su dosificación, juega un papel crucial en la calidad y durabilidad de las construcciones. Aunque el hormigón es adaptable a diversas circunstancias, su uso en situaciones más exigentes requiere la incorporación de otros materiales como fibras, microsílíce y aditivos, lo que mejora sus propiedades.

El estudio del autor destacó la importancia de un conocimiento profundo del hormigón y la influencia de estos materiales en la dosificación para lograr mezclas exitosas. A pesar de la existencia de múltiples métodos de dosificación para hormigones convencionales, no todos son aplicables a cada situación, y muchos de ellos se basan en la experiencia y en metodologías empíricas, lo que ha generado confusión y la necesidad de nuevas pautas para el diseño de mezclas, especialmente para hormigones no convencionales como los de alta resistencia.

El estudio analizó el uso de la vermiculita como árido en la elaboración de hormigones de baja densidad para mejorar su resistencia, durabilidad y maleabilidad, aspectos que son fundamentales para optimizar tiempos y costos en la construcción. A través de ensayos de laboratorio, se evaluó el comportamiento de la vermiculita en la mezcla de hormigón y se determinó la dosificación más adecuada. Esta propuesta no solo buscó mejorar la calidad del hormigón, sino que también se alineó con los

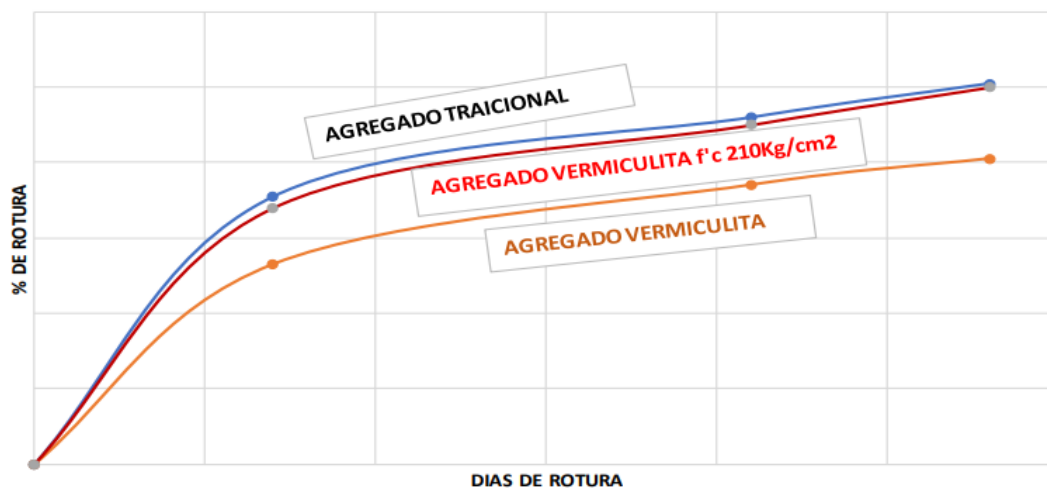


objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir de Ecuador, que promovió el uso de insumos locales y la innovación en la matriz productiva del país, contribuyendo a la mejora de la calidad de vida de la población. Además, la investigación podría ser de gran interés para la industria de la construcción, ya que ofrece una alternativa sostenible y eficiente para la elaboración de morteros, especialmente en recubrimientos de paredes, reduciendo así los costos de construcción.

La vermiculita es un material con destacadas propiedades aislantes, tanto térmicas como acústicas. Su capacidad de expansión le permite soportar temperaturas que oscilan entre 200 y 1200 grados Celsius sin perder eficacia, y su baja conductividad térmica evita que el calor pase fácilmente a través de ella. Las láminas que componen la vermiculita dispersan la energía térmica, actuando como pequeñas pantallas, lo que también contribuye a su eficacia como aislante acústico al repartir y amortiguar el sonido.

**Figura 12**

Gráfico de rotura con las distintas dosificaciones.



Fuente: González, (2020)

Otra de sus características notables es su resistencia al fuego, ya que no comienza a fusionarse hasta alcanzar los 1370 grados Celsius. Además, su estructura no se ablanda hasta los 1250 grados, lo que la convierte en un material ideal para protección contra incendios. En pruebas experimentales, se construyeron paneles con vermiculita, y los resultados confirmaron su efectividad como aislante térmico. Mientras que la temperatura exterior variaba entre 33°C y 37°C, la temperatura interior se mantuvo constante en 25°C, demostrando su capacidad para regular la temperatura y proteger contra el calor.

El estudio evaluó la viabilidad de utilizar la vermiculita como agregado en hormigón de alta resistencia. Inicialmente, se utilizó un diseño con una resistencia esperada de  $f'c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>, pero los resultados mostraron que la vermiculita no cumplía con las normas, ya que su desgaste fue del 59%, superior al límite permitido del 50%. La resistencia obtenida a los 28 días fue de  $f'c$  170,9 Kg/cm<sup>2</sup>, lo que no alcanzó el objetivo.

Se realizó un nuevo diseño ajustando la dosificación, lo que permitió alcanzar la resistencia especificada de  $f'c$  210,9 Kg/cm<sup>2</sup>, aunque se observaron dificultades en la trabajabilidad, por lo que se recomendó el uso de aditivos. Además, se comprobó la efectividad de la vermiculita como aislante térmico, construyendo paneles que mantuvieron una temperatura interior constante de 25°C, mientras la temperatura exterior varió entre 33°C y 37°C.

Este estudio fue particularmente útil para establecer que no todo aislante térmico aún con apariencia granular puede ser utilizado como agregado para concreto. En conclusión, aunque la vermiculita no es adecuada para hormigón de alta resistencia, puede ser una alternativa para construir viviendas de una planta en regiones donde esté disponible, como la parroquia Los Vergeles en Manabí, Ecuador.

El texto de los autores Regalado y Vásquez (2023), aborda el uso de materiales de construcción con propiedades aislantes térmicas para mejorar la eficiencia energética en edificios, lo que contribuye a reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. Se destacó que el concreto con aditivo superplastificante y perlitas de poliestireno expandido reciclado puede ser una solución efectiva, especialmente en regiones con climas extremos. Este tipo de concreto no solo mejora la eficiencia energética, sino que también incrementa la durabilidad y reduce los costos de mantenimiento de las estructuras.

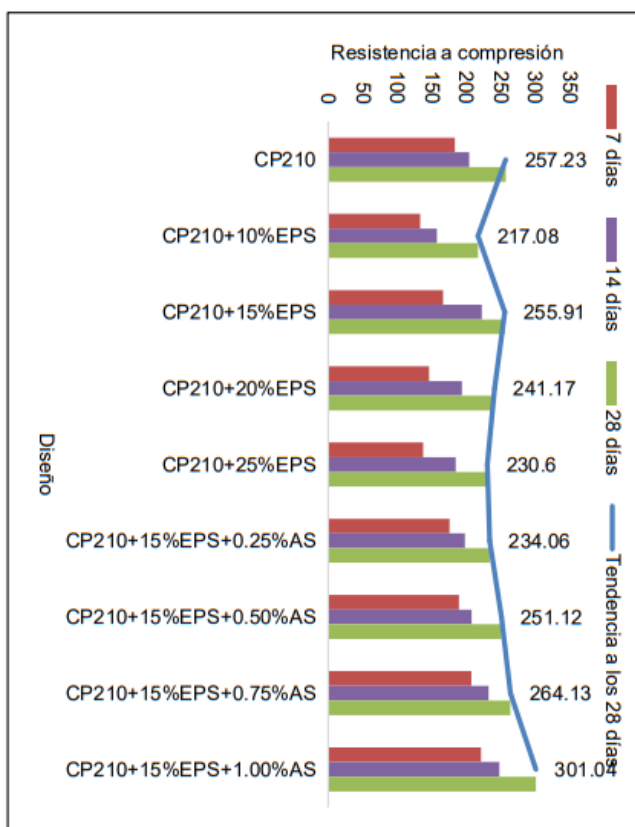
El estudio se enfoca en evaluar la viabilidad de este concreto como aislante térmico y concluye que la adición de poliestireno reciclado y aditivos mejora tanto las propiedades térmicas como mecánicas del concreto, haciéndolo más eficiente y sostenible. Además, resalta la importancia de utilizar materiales reciclados para reducir residuos y promover prácticas de construcción más responsables con el medio ambiente.

El objetivo de la tesis fue diseñar mezclas de concreto con resistencias de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  utilizando poliestireno expandido (EPS) y un aditivo supe plastificante (AS). Se realizaron mezclas con diferentes porcentajes de EPS (0%, 10%, 15%, 20%, 25%) y luego se añadieron diferentes proporciones de AS (0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%) a la mezcla que mostró mejores propiedades mecánicas.

Para el concreto CP210, se observó que la adición de 15% de EPS resultó en una reducción mínima de la resistencia a tracción (2.35%). Al añadir AS a esta mezcla, la resistencia a tracción aumentó progresivamente, alcanzando su punto máximo con un 1% de AS, lo que mejoró significativamente la capacidad mecánica del concreto.

**Figura 13**

Resistencia del concreto con la adición del aislante térmico.



Fuente: Regalado y Vásquez, (2023)

#### 2.1.2.4 Resistencia a la Compresión del Concreto.

De acuerdo con los investigadores León y Rodríguez (2022), los materiales de construcción han evolucionado significativamente desde los primeros intentos de edificación, destacándose actualmente el hormigón y el acero por sus excepcionales propiedades. El hormigón, un material heterogéneo compuesto de áridos y una pasta

obtenida al mezclar agua con un aglomerante como el cemento Portland, es crucial en la construcción moderna debido a su bajo costo, versatilidad y durabilidad.

Para mantener sus propiedades óptimas, es esencial un control de calidad riguroso en los materiales y su comportamiento. Aunque el hormigón no tiene un método único de producción, su calidad se asegura mediante pruebas de propiedades como la resistencia a la compresión, densidad, porosidad, absorción capilar, resistividad y permeabilidad. La resistencia a la compresión es fundamental para evaluar la calidad del hormigón, mientras que la resistividad eléctrica es clave para determinar su durabilidad, aunque no está incluida en todas las normativas, como la cubana NC 120:2021, que solo considera valores mínimos de resistencia a la compresión en función del nivel de agresividad. El artículo revisó los factores que afectan la resistencia a la compresión del hormigón.

La resistencia del hormigón es crucial para determinar su calidad y se define como la capacidad del material para soportar tensiones sin romperse, con las fisuras a veces siendo un signo de ruptura. Entre las resistencias mecánicas, la resistencia a la compresión es la más representativa y buscada, con valores que en hormigones de altas prestaciones (HAP) pueden superar los 40 MPa. La resistencia del hormigón aumenta notablemente en los primeros días, alcanzando hasta un 40% más a los tres días en comparación con los 28 días, momento en que se estabiliza y se toma como referencia en varios países, incluyendo Cuba.

La calidad final del hormigón está influenciada por diversos factores que se pueden agrupar en cuatro categorías: materiales, mano de obra, métodos y maquinaria, y medio ambiente. Estos incluyen la dosificación, características de los materiales, mineralogía, tamaño del agregado, tipo de aditivos, mezcla, transporte, colocación, compactación, condiciones de humedad y curado, así como la geometría del cuerpo de prueba.

La calidad del hormigón también depende de las características de los áridos, como granulometría, forma, textura, y absorción. Un tamaño de agregado inadecuado y una mala distribución granulométrica pueden reducir la resistencia del hormigón. La forma de los áridos es a menudo más importante que la granulometría, y un aumento en la cantidad de vacíos en la mezcla puede requerir más cemento.

Por otra parte, las propiedades del cemento como su finura y contenido, afectan la resistencia a compresión. Aunque un cemento más fino puede aumentar la resistencia, también puede causar más retracción y calor de hidratación, por lo que es crucial equilibrar el contenido de cemento para evitar excesos que comprometan la calidad.

Mientras tanto, la cantidad de agua influye en la pasta de cemento y en la formación de poros. Más agua aumenta el volumen de espacios vacíos, lo que puede reducir la resistencia a compresión del hormigón. Con respecto a la relación agua-cemento esta relación es fundamental ya que afecta directamente la resistencia a compresión. Aunque es un factor crítico, no se pueden establecer valores fijos ya que depende de las condiciones específicas de cada mezcla. Más bien, las condiciones de curado terminan siendo muy importantes, el curado adecuado del hormigón es esencial para alcanzar la resistencia deseada y evitar problemas como fisuras.

Los métodos de ensayo y las condiciones bajo las cuales se realiza la prueba de resistencia también influyen en los resultados obtenidos. Estos factores deben ser cuidadosamente controlados y ajustados para asegurar la calidad y durabilidad del hormigón en las construcciones.

De la De la Cruz et al., (2022), expresó en su trabajo que el concreto es un material compuesto por pasta de cemento hidratado y granos de roca triturada, y sus propiedades varían según la composición y los aditivos utilizados. En estado fresco, el concreto presenta características como trabajabilidad, fluidez, y puede sufrir problemas como segregación, exudación, y contracción. En estado endurecido, se evalúa su resistencia y elasticidad.

La calidad del concreto depende de varios factores, incluyendo la correcta proporción y características de los materiales, como el cemento, áridos, y agua. Los avances en construcción han llevado al uso de materiales innovadores, como ceniza de arroz, arcilla calcinada, y residuos de conchas de abanico. Estos residuos, como el de conchas de abanico, que se acumulan en grandes cantidades en Perú, contienen carbonato de calcio que puede ser usado en la fabricación de concreto, reemplazando parcialmente el cemento Portland. Este uso no solo ayuda a reducir el impacto ambiental de los residuos, sino que también puede mejorar la resistencia y durabilidad del concreto.

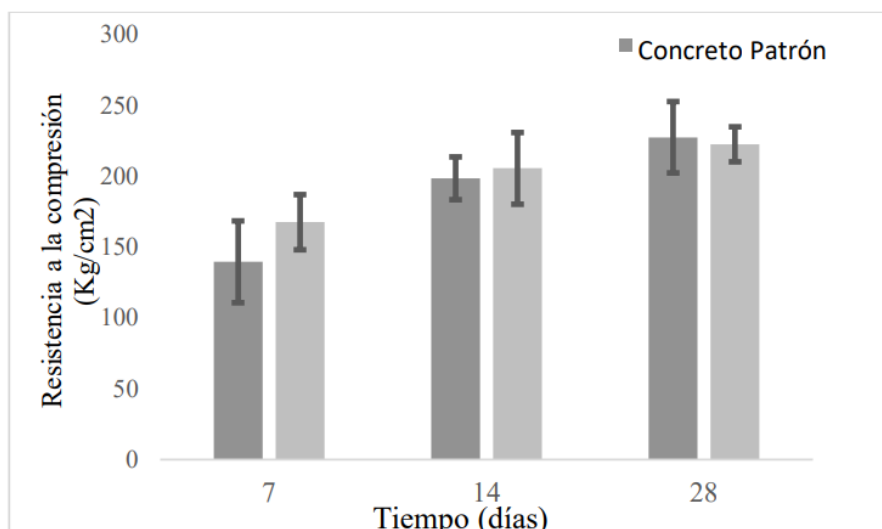
El objetivo de la investigación fue evaluar el potencial de los residuos de conchas de abanico y yeso en la producción de concreto, y su impacto en la resistencia a la compresión del material, contribuyendo así al cuidado del medio ambiente. Para analizar la resistencia del concreto, se utilizó una prensa hidráulica digital siguiendo el método ASTM C 39. El ensayo consistió en medir la resistencia de probetas de concreto a diferentes edades (7, 14 y 28 días) bajo una carga de compresión.

Cuando terminó el proceso de curado, las probetas se retiraron del agua, se secaron, y luego se colocaron en la prensa con una tasa de aplicación de carga de  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s, hasta la ruptura, que se produjo en 60 segundos. Se compararon dos tipos de concreto: uno patrón y otro experimental con adición de residuos calcáreos y yeso.

Los resultados mostraron que a los 7 días, el concreto experimental presentó una resistencia de hasta  $168 \text{ kg/cm}^2$ , superior a los  $140 \text{ kg/cm}^2$  del concreto patrón. A los 14 días, el concreto experimental resistió hasta  $206 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que el patrón resistió  $198 \text{ kg/cm}^2$ . A los 28 días, ambos concretos superaron la resistencia de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , con el concreto experimental alcanzando  $222 \text{ kg/cm}^2$  y el patrón  $228 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 14**

Cuadro comparativo entre las resistencias del concreto control y el modificado.



Fuente: De la Cruz et al., (2022)

La investigación indicó que la adición de residuos de conchas de abanico y yeso mejora la resistencia a la compresión del concreto, confirmando estudios previos

que sugieren un incremento del 5-10% en resistencia con adiciones calcáreas. La temperatura de cambio estructural de las conchas de abanico es de 890°C, suficiente para calcinarlas y utilizarlas en la producción de cemento, que se realiza a temperaturas de 1350-1450°C. El contenido de óxido de calcio en el yeso y las conchas de abanico calcinadas hace que estos materiales sean adecuados para mejorar el cemento, siendo recomendables para la producción de concreto estructural.

Ruíz et al., (2022), expresaron en su texto la importancia del hormigón en la construcción, destacando su adaptabilidad, trabajabilidad y durabilidad. Compuesto principalmente por cemento, arena, grava, agua y, a veces, aditivos, el hormigón requiere un proceso de dosificación preciso para alcanzar su máxima resistencia. La resistencia a la compresión es una característica clave evaluada para determinar la calidad del hormigón, la cual se mejora significativamente mediante un adecuado proceso de curado después del fraguado.

El curado fue crucial para mantener la humedad y temperatura necesarias para desarrollar las propiedades óptimas del hormigón. La Norma Ecuatoriana de Construcción establece que las superficies expuestas deben mantenerse húmedas por al menos 5 a 7 días. En Ecuador, los métodos de curado incluyen la cobertura con placas plásticas y mantas húmedas. La investigación mencionada en el texto compara métodos de curado como la hidratación continua, cubiertas húmedas y láminas de polietileno para determinar cuál es el más efectivo para alcanzar las resistencias deseadas en el diseño.

Por esta razón, el texto describió la importancia del curado del hormigón, que consiste en mantener la humedad y temperatura adecuadas para desarrollar las propiedades deseadas, como la resistencia y durabilidad. Según el ACI 308-92 y la NEC-SE-HM, existen dos principales métodos para el curado, el curado con agua el cual implica la aplicación continua de agua mediante anegamiento, aspersion, o el uso de materiales saturados como mantas de yute, algodón, o aserrín. Este método ayuda a retener la humedad, pero puede ser menos efectivo si se aplica de forma intermitente o si la superficie del hormigón está seca. Y el curado con materiales selladores que utiliza materiales como hojas plásticas, papeles impermeables o compuestos formadores de membranas para prevenir la pérdida de agua en la superficie del hormigón. Las láminas de polietileno, especialmente las de color blanco

y con un espesor de 0,10 mm, son recomendadas para climas cálidos, ya que protegen las estructuras y reflejan los rayos solares.

El método de hidratación continua, aunque fácil de ejecutar, puede ser problemático si no se aplica correctamente, mientras que el uso de cubiertas absorbentes como el yute requiere humedecimiento frecuente para evitar deficiencias. Las láminas de polietileno son especialmente efectivas en climas cálidos y ayudan a mantener la calidad del hormigón al protegerlo de factores externos.

El texto detalló también que la resistencia a la compresión es la principal característica mecánica del hormigón, indicando su capacidad para soportar cargas por unidad de área. Esta resistencia, denotada como  $f_c$ , se determina probabilísticamente, con solo un pequeño porcentaje que es aproximadamente el 5% de las muestras mostrando resistencias inferiores a las especificadas en el diseño. La resistencia media de los especímenes ( $f_m$ ) suele ser mayor que la resistencia característica.

La resistencia del hormigón se prueba mediante muestras de especímenes curados, ya que no es posible medirla en la condición plástica del material. La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1576:2011 establece que se deben tomar muestras del hormigón fresco y seguir procedimientos normalizados para determinar sus características físicas. Las muestras se moldean en cilindros o vigas, siguiendo procedimientos específicos.

La NTE INEN 1573:2010 advierte que la determinación de la resistencia a compresión depende de varios factores, incluyendo la geometría del espécimen, la dosificación, el método de mezclado, y el proceso de curado. Además, factores como la relación agua-cemento, el tipo de cemento, el contenido de cemento, las condiciones de curado, y el tipo de agregado influyen en la resistencia a la compresión. Por lo tanto, es crucial seguir procedimientos adecuados y normas específicas durante el diseño y la producción del hormigón para asegurar su calidad y propiedades óptimas.



## **2.2 Marco Legal**

### **2.2.1 Constitución de la República del Ecuador**

Este cuerpo legal estableció declaraciones de carácter normativo y obligatorio en un ámbito jurídico de máxima jerarquía, es decir, planteó normas axiomáticas que no pueden ser objetadas o recursivas en su significado. Esto evidentemente genera un contexto jurídico para cualquier actividad o concepto de trabajo que se pueda realizar. En dicho sentido, la Constitución marcó el contexto normativo sobre el cual se fundamentó legalmente el presente trabajo investigativo.

Uno de los primeros artículos que generó un marco normativo para esta investigación fue el artículo 264 en su numeral 7, el cual declaró la obligatoriedad de los gobiernos municipales para con la infraestructura física. El artículo mencionó:

Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

7. Planificar, construir y mantener la infraestructura física y los equipamientos de salud y educación, así como los espacios públicos destinados al desarrollo social, cultural y deportivo, de acuerdo con la ley. (Asamblea Constituyente, 2008)

Resultó evidente que, al mencionar el mantenimiento de la infraestructura física, de forma implícita se incluyó la protección del concreto a los efectos de la carbonatación como una de sus patologías más comunes. Cabe recalcar que aún sin mencionar directamente este aspecto, se trata de una situación que forma parte del oficio de mantener en buen estado la infraestructura física de las construcciones.

De igual manera, pero a un nivel de ordenamiento territorial más bajo, el artículo 267 numeral 2, expresó básicamente lo mismo que el anterior. Sin embargo, en este artículo, el ente gubernamental sujeto del artículo fueron los gobiernos parroquiales. El artículo dijo:

Los gobiernos parroquiales rurales ejercerán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de las adicionales que determine la ley:

2. Planificar, construir y mantener la infraestructura física, los equipamientos y los espacios públicos de la parroquia, contenidos en los planes de desarrollo e incluidos en los presupuestos participativos anuales. (Asamblea Constituyente, 2008)

### **2.2.2 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización**

Este código contenía una serie de artículos muy relevantes para la investigación puesto que, de forma evidente, al abordar los asuntos relacionados con la gestión territorial, de forma indirecta consideró a la infraestructura física como parte del contexto legal de aplicación de las políticas públicas mediante ley. En referencia a ello, el artículo 55 en su literal “g” marcó las competencias exclusivas de los gobiernos municipales para con la infraestructura física. Al respecto expresó:

Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal. - Los gobiernos autónomos descentralizados municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

Planificar, construir y mantener la infraestructura física y los equipamientos de salud y educación, así como los espacios públicos destinados al desarrollo social, cultural y deportivo, de acuerdo con la Ley.

Con su enunciado el artículo dejó clara la intervención que deben tener los municipios en el cuidado de las edificaciones de dominio público, así como la planificación y construcción de ser necesario. Sin embargo, para los efectos de esta investigación, jurídicamente se respalda con el aspecto del artículo referente al mantenimiento. Esto debido a que es claro y evidente que las afectaciones por carbonatación están inmersas en el contexto del cuidado y mantenimiento de la infraestructura existente.

En el mismo sentido, pero bajo una escala menor en el orden jerárquico administrativo público, el artículo 65 en su literal “b” expresó un enunciado idéntico al del artículo 55. Sin embargo, en esta ocasión se trató de las competencias que asignó a los GAD parroquiales rurales. Estas organizaciones de carácter administrativo para la gestión del territorio tuvieron a bien recibir las competencias que el artículo declaró:

Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado parroquial rural.- Los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales ejercerán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de otras que se determinen:

b) Planificar, construir y mantener la infraestructura física, los equipamientos y los espacios públicos de la parroquia, contenidos en los planes de desarrollo e incluidos en los presupuestos participativos anuales.

Por otra parte, pero en el mismo ámbito de gestión, el artículo 145 cohesionó las tareas conjuntas y la coordinación entre los GAD tanto municipales como provinciales en cuestión de algunos aspectos. Estos últimos estuvo la referida a la infraestructura y su respectivo mantenimiento y cuidado que el ámbito a aplicación de la presenta investigación. al respecto este artículo mencionó:

Ejercicio de la competencia de infraestructura física, equipamientos y espacios públicos de la parroquia rural.- A los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales les corresponde, concurrentemente y en coordinación con los gobiernos autónomos descentralizados provinciales y municipales, según corresponda, planificar, construir y mantener la infraestructura física, los equipamientos y espacios públicos de alcance parroquial, contenidos en los planes de desarrollo y acorde con sus presupuestos participativos anuales. Para lo cual podrán contar con la concurrencia y apoyo de los gobiernos autónomos descentralizados provinciales y municipales.

### **2.2.2 Ley Orgánica de Vivienda de Interés Social**

Esta ley fue importante para marcar el entorno jurídico de la investigación puesto que hizo mención a varios aspectos de la infraestructura física de las edificaciones destinadas a servir como residencia. En este sentido, el artículo 20 de la sección II que trataba sobre las garantías de la vivienda explicó conceptualmente las condiciones de habitabilidad en su literal "c". Al respecto, el artículo expresó:

Garantías de vivienda adecuada y digna. - El ente rector de hábitat y vivienda, los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos, así como cualquier ente público o privado involucrado en proyectos de producción de cualquier tipo de vivienda de interés social, deberán garantizar el derecho a una vivienda adecuada y digna, de conformidad con los parámetros de construcción y demás características establecidas para el efecto por el ente rector de hábitat y vivienda. Para ello, deberá cumplir como mínimo con lo siguiente:

c. Condiciones de habitabilidad. - La vivienda de interés social debe garantizar condiciones de habitabilidad tales como: espacio y compartimentación necesarios para evitar el hacinamiento; iluminación, ventilación y temperatura interior adecuadas; protección contra la lluvia, viento y otras amenazas que puedan afectar a la salud; y, seguridad estructural de la edificación, de conformidad con las normas establecidas por las entidades públicas competentes.

Fue claro entonces que, para poder fortalecer el concepto de vivienda digna, los asuntos referentes al ámbito estructural de la edificación resultan cruciales. El artículo y su literal declararon la seguridad estructural como una parte importante de todo el compendio de garantías de vivienda de interés social.

No menos importante, fue el artículo 5 de la ley puesto que, brindó los conceptos generales sobre los cuales cimentó sus bases jurídicas. Básicamente, definió conceptualmente algunos términos necesarios para el entendimiento ulterior de las demás declaraciones de ley. El artículo entró en materia estructural a través de su literal “m” expresando lo siguiente:

m. Resiliencia. - Es el fortalecimiento de la capacidad de las ciudades o centros urbanos, barrios y comunidades, para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse, oportuna y eficientemente, de los efectos de las amenazas que pudieran afectarla, de forma tal que se preserve y restaure sus estructuras y funciones básicas.

### **2.2.3 NTE INEN 2380:2011**

Esta norma es aplicable sobre los cementos hidráulicos para establecer regulaciones en base a su desempeño. Se conoce que el cemento Portland no es de uso tan común en el Ecuador y, por lo tanto, se ha requerido el uso de una norma que regule a los cementos hidráulicos con base en la forma como estos se van a desempeñar una vez fraguados. Para efectos del entendimiento se presenta el alcance:

Esta norma clasifica los cementos, en base a requisitos específicos de desempeño: uso general, alta resistencia, resistencia al ataque por sulfatos y calor de hidratación. Se proporcionan otro requisito que a opción del comprador

se pueden aplicar como por ejemplo la propiedad de baja reactividad con áridos reactivos álcali-sílice.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación fue de carácter mixto puesto que, los datos originalmente planificados para recopilarse tenían un carácter dual. La planificación incluyó determinar que para analizar los cilindros y viguetas de hormigón se realicen ensayos de resistencia a la compresión, lo cual significó recoger datos cuantitativos en este sentido. Posteriormente, al aplicar el reactivo fenolftaleína a las muestras de hormigón, se realizó un ensayo que en química pura se conoce como *Titulación*. Sin embargo, es necesario aclarar que este ensayo se utilizó desde un punto de vista meramente cualitativo ya que, la fenolftaleína permite, a través del color que toma la muestra al aplicar el reactivo, concluir si el hormigón está o no carbonatado.

Luego, se planificó realizar una comparación entre los valores de muestras de hormigón convencional y hormigón aditivo con los materiales propuestos que fueron las microesferas huecas de vidrio y el aislante térmico. La información de entrada o "input" del cuadro comparativo fue de tipo cuantitativa y el procedimiento en sí buscó interpretar diferencias entre los valores y cómo los materiales afectaban las propiedades extensivas del concreto.

Finalmente, se realizó una bitácora del procedimiento mediante el registro de cada actividad, pero con el enfoque de darle valoración monetaria, es decir, cada actividad y material fue registrado con su respectiva asignación del costo monetario que implicó llevar a cabo la tarea. Esta información fue de tipo cuantitativa. Por lo tanto, dada la naturaleza de los datos recopilados y de las técnicas aplicadas, se logró determinar un enfoque mixto para el presente trabajo.

Pole (2009), describió el diseño de metodologías mixtas en la investigación, como aquella que combina datos cuantitativos y cualitativos en un solo estudio o en varios dentro de un programa de investigación. En la investigación de la autora se evidenció que se propuso el término "diseño de metodologías mixtas" para referirse al uso conjunto de estos procedimientos.

Además, dijo que la investigación con metodologías mixtas implica la recolección y análisis de datos cuantitativos y cualitativos, a menudo de forma

paralela, sin una combinación profunda entre ambos tipos de datos. En cambio, la investigación con modelos mixtos integra más estrechamente ambos enfoques, diferenciándose de los diseños multimétodo que se restringen a una sola perspectiva (cualitativa o cuantitativa).

Los investigadores en ciencias se agrupan en tres categorías: los orientados hacia lo cuantitativo, los cualitativos y los metodólogos mixtos. Estos últimos, aunque se acercan a perspectivas cualitativas y creen en múltiples realidades, combinan métodos cuantitativos y cualitativos para responder a sus preguntas de manera paralela, concurrente o secuencial.

### **3.2 Alcance de la Investigación**

El alcance de esta investigación fue de tipología descriptiva. Para determinar este alcance fue necesario el planteamiento de la pregunta ¿Hacia dónde llevan los resultados de la investigación? Al intentar responderla, se tuvo que categorizar el grado de pretensión que iban a tener la interpretación de los resultados, es decir, se escogió entre tres opciones:

1. Los resultados pretenden generar conocimiento nuevo y original sobre algún aspecto poco estudiado de la investigación. Esta respuesta hizo alusión al alcance exploratorio.
2. Los resultados pretenden describir aspectos ya conocidos y con una historial de estudios y/o teorías ya establecidas en el campo. Esta respuesta hizo alusión al alcance descriptivo.
3. Los resultados pretenden encontrar las relaciones existentes entre las variables de investigación. Esta respuesta hizo alusión al alcance correlacional.

De esta forma se eligió la opción número 2 puesto que, era la opción que mejor se acoplaba a la forma en la que los investigadores planeaban desarrollar el trabajo. Básicamente, los resultados iban a mostrar cómo se producía el fenómeno de carbonatación en el concreto, algo que ya ha sido estudiado y tiene teorías establecidas; y también pretendían mostrar la influencia de ciertos materiales en el proceso de carbonatación.

Tamayo (2007), explicó que la investigación descriptiva se enfoca en el registro, análisis, descripción e interpretación de los procesos, la naturaleza y los fenómenos. Su objetivo principal es entender cómo una persona, grupo o cosa

funcionan en el presente, basándose en realidades y hechos. Su característica fundamental es proporcionar una interpretación precisa. Además, se considera una investigación aplicada porque busca fines directos e inmediatos, como evaluar recursos humanos o naturales para optimizarlos en una región determinada.

Cabe recalcar que, según los estudios consultados, la investigación descriptiva se caracteriza porque solo considera una variable de investigación. Esta afirmación fue congruente tomando en cuenta que, al no buscar relaciones entre variables, la descripción de un fenómeno se enfoca en la aplicación de la metodología sobre una sola variable.

### 3.3 Técnica e Instrumentos para Obtener los Datos

#### 3.3.1 Operacionalización de la Variable

La operacionalización de la o las variables es un método que permite desglosar el nivel de abstracción de una variable para poder ser medida o estudiada de forma correcta. Este método también permite la definición de los instrumentos de investigación a ser utilizados para los efectos de la medición. En el caso del presente trabajo, aunque existieron dos técnicas puras con su respectivo instrumento que fueron los ensayos de resistencia y el ensayo de titulación. Sin embargo, existieron otros dos métodos que complementaron el desarrollo de la investigación y ayudaron a comprender el fenómeno de la investigación, los cuales fueron el cuadro comparativo y la bitácora valorada.

**Tabla 5**

Operacionalización de la variable.

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumento
Resistencia	La capacidad que tiene un elemento de hormigón para soportar cargas aplicadas sobre este y no sufrir daños hasta cierto valor límite	N/A - Variable simple que puede ser medida de forma directa	Valor de carga aplicada sobre una superficie determinada	- Prensa compactadora - Fenolftaleína

Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

#### 3.3.1.1 Ensayos de Resistencia

Los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón fueron realizados en el laboratorio de suelos Paco Alcoser en la ciudad de Guayaquil. Los ensayos consistieron en someter probetas de hormigón simple a la acción de carga de una



prensa hidráulica que medía la carga última del elemento antes de llegar a la fractura. De igual manera se procedió con las viguetas de concreto simple, salvo por el hecho de que fueron realizados con un aditamento de arquitectura mecánica distinta en la prensa.

#### **3.3.1.1.1 Ensayos a los Agregados.**

Para la mezcla de concreto se requirieron cuatro elementos básicos imprescindibles que todo concreto simple debe contener. Estos fueron cemento, arena, grava y agua. Las proporciones de la mezcla fueron determinadas en base al diseño que el que mismo laboratorio proveyó y para ello, el primer paso fue realizar los respectivos ensayos a los agregados. Estos fueron:

1. Peso específico.
2. Peso volumétrico.
3. Granulometría.

Adicionalmente, se analizaron los materiales propuestos de microesferas huecas de vidrio y aislante térmico mediante sus respectivas fichas técnicas.

#### **Figura 15**

Ensayo de peso específico.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

**Figura 16**

Ensayo granulométrico.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

**Figura 17**


Ensayo de absorción.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

Figura 18

Ficha técnica de las microesferas huecas de vidrio.

		<b>Producción</b> <b>FO-PR-12 Especificación</b> Rev.01 22/04/22 Página 1 de 1
<h2>Microesfera de vidrio M 247 Tipo I</h2>		
Especificación Producto		ES-MVDO-10
<h3>Generalidades</h3>		
<b>Descripción</b> <b>Tipo</b> <b>Aplicación</b> <b>Empaque</b>	Microesfera de Vidrio M 247 Tipo I Drop On Highway Marking Saco de Polipropileno de 25 Kg.	
<h3>Especificaciones</h3>		
Requisito	Especificación	Método de Prueba
Esfericidad (%)	% 70 mínimo	MT-AC-05
Contenido de Sílice (%)	% 65 mínimo	MT-AC-13
Contenido de Plomo (ppm)	100 ppm máximo	MT-AC-06
Contenido de Arsénico (ppm)	75 ppm máximo	MT-AC-06
Índice de Refracción	1.50 - 1.55	MT-AC-09
Gravedad Específica (gr./cm <sup>3</sup> )	2.3 - 2.6 gr./cm <sup>3</sup>	MT-AC-12
Flotación	Cumple	MT-AC-04
Resistencia a Agentes Químicos*	Cumple	MT-AC-10
Granulometría (%)	% Pasa	MT-AC-03
	US Std # 16	100
	US Std # 20	95-100
	US Std # 30	75 - 95
	US Std # 50	15 - 35
	US Std # 100	0 - 5
<small>* Agentes Químicos: Agua, Acido Clorhídrico, Sulfuro de Sodio y Cloruro de Calcio.</small>		
<h3>Revisión y Aprobación</h3>		
<b>Revisó</b> Superintendente de Planta 	<b>Aprobó</b> Gerente de Negocios 	
<small>NOTA: La versión controlada de este documento se encuentra en el servidor de la compañía. La copia de este documento es valida sólo como referencia, esta debe ser revisada contra la versión controlada para asegurar su vigencia.                  The controlled version of this document can be found on the company's server. Printed version are uncontrolled and are only valid on the day of printing.</small>		

Fuente: Potters, (2024)

## Figura 19

### Ficha Técnica Adifiber I.

Hoja Técnica  
094-2022 1/2

## Adifiber N

Fibra de nylon para refuerzo de hormigón y mortero

---

**DESCRIPCION**

Adifiber N es una fibra sintética a base de nylon virgen 100% que reduce el fisuramiento durante la contracción en estado plástico, previo al fraguado del hormigón.

Adifiber N cumple requerimientos de ASTM C 1116 Especificación estándar para concreto y concreto lanzado reforzado con fibra.

---

**DATOS TECNICOS**

% Contracción:	< 10%
Gravedad específica:	1.15
Punto de fusión:	> 490°F
Tenacidad:	> 3.0 gpd
Contracción:	< 10%
Módulo de elasticidad:	15000 kg/cm2
Resistencia química a álcalis:	Excelente
Longitud:	0.25", 0.375", 0.5", 0.75", and 1.0"

---

**USOS**

Se emplea Adifiber N para:


- Losas de hormigón.
- Hormigón proyectado.
- Enlucidos de fachadas.
- Concretos decorativos.
- Elementos prefabricados.
- Revestimientos de canales.

---

**MODO DE EMPLEO**

Adicionar de forma gradual a la mezcla en seco de concreto o mortero. No disolver en el agua de amasado. Una vez añadido Adifiber N basta con prolongar el mezclado al menos 5 minutos.

Dosis 600 gramos por metro cúbico de hormigón.





**ADITEC ECUADOR**

Durán.- Vía Durán Tambo Km 5 , Solar 3. Área Industrial Las Brisas - PBX: (04) 602 6090 – 602 6089

Quito.- Nazareth OE – 166 y Melchor Toaza - PBX: (02) 280 4400 – 280 8776

Web: [www.aditec-ec.com](http://www.aditec-ec.com) - e-mail: [servicio@aditec-ec.com](mailto:servicio@aditec-ec.com)

EMPRESA CERTIFICADA ISO-9001:2015

**Responsible Care®**  
OUR COMMITMENT TO SUSTAINABILITY




Fuente: Aditec, (2024)

## Figura 20

### Ficha Técnica Adifiber II.

Hoja Técnica 094-2022	2/2
<hr/>	
<b>BENEFICIOS</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Controla y mitiga la fisuración por retracción e impidiendo su propagación.</li><li>• Reduce la permeabilidad.</li><li>• Aumento importante del índice de tenacidad del concreto.</li><li>• Modifica la trabajabilidad y el asentamiento de la mezcla del concreto.</li><li>• Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.</li><li>• Mejora la resistencia a la flexión.</li></ul>
<hr/>	
<b>RECOMENDACIONES</b>	<p>Adifiber N no sustituye a las armaduras principales y secundarias resultantes del cálculo. No evita las grietas derivadas de un mal dimensionamiento y aunque ayuda a controlarlo, no evita las grietas producto de un deficiente curado.</p> <p>Adifiber N no debe utilizarse como refuerzo estructural.</p>
<hr/>	
<b>PRESENTACION</b>	Funda      0.6 kg.
<hr/>	
<b>ALMACENAMIENTO</b>	Cinco años en el envase original bien cerrado, en sitio fresco y bajo techo.
<hr/>	
<b>CODIGOS R Y S:</b>	S9 HT - 094- 2022
<hr/>	
<p>ADITEC ECUATORIANA Cia. Ltda. mantiene la alta calidad de sus productos y procesos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo.</p>	

---

 <p>EMPRESA CERTIFICADA ISO-9001:2015</p>	<p><b>ADITEC ECUADOR</b></p> <p>Durán.- Vía Durán Tambo Km 5 , Solar 3. Área Industrial Las Brisas - PBX: (04) 602 6090 – 602 6089</p> <p>Quito.- Nazareth OEI – 166 y Melchor Toaza - PBX: (02) 280 4400 – 280 8776</p> <p>Web: <a href="http://www.aditec-ec.com">www.aditec-ec.com</a> - e-mail: <a href="mailto:servicio@aditec-ec.com">servicio@aditec-ec.com</a></p>	  <p>Responsible Care® OUR COMMITMENT TO SUSTAINABILITY</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Aditec, (2024)

### **3.3.1.1.2 Elaboración de la Mezcla.**

Una vez realizados los ensayos respectivos tanto a los agregados gruesos como a los finos, se procedió a realizar la mezcla de los componentes del concreto. Esto se llevó a cabo no sin aprovechar que, una vez mezclados los elementos, se podía realiza el ensayo de revenimiento.

**Figura 21**

Mezclado de los componentes I.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

**Figura 22**

Mezclado de los componentes II.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

**Figura 23**

Ensayo de revenimiento I.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

**Figura 24**

Ensayo de revenimiento II.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

### ***3.3.1.1.3 Curado de los Elementos de Hormigón.***

Realizada la mezcla se procedió a colocar este dentro de los moldes para el efecto del curado. En el curado, los elementos son sumergidos en piscinas de agua

para garantizar un fraguado homogéneo y para disminuir el calor de hidratación de la reacción exotérmica del fraguado y así asegurar que las muestras lleguen a la resistencia deseada.

**Figura 25**

Colocación del concreto sobre los moldes normalizados.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

**Figura 26**

Curado de las muestras I.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)



**Figura 27**

Curado de las muestras I.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

#### **3.3.1.1.4 Rotura de los Cilindros y Viguetas.**

Cuando finalmente se cumplen los días establecidos para el curado, a saber 7, 14 y 28 días, las muestras son retiradas de la piscina de curado para ser sometidas a cargas en la prensa hidráulica. Con esto se cumple el proceso del ensayo de resistencia a la compresión.

**Figura 28**

Rotura de cilindros.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

**Figura 29**

Rotura de viguetas.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

### **3.3.1.2 Ensayo de Titulación**

La fenolftaleína es un compuesto químico que se utiliza comúnmente como indicador de pH en laboratorios de química. Es un polvo blanco que se disuelve en alcohol y otros solventes, pero no en agua. Su principal característica es que cambia de color según el pH de la solución en la que se encuentra. En soluciones ácidas, es decir, con un pH menor a 7, la fenolftaleína permanece incolora. Por otra parte, en soluciones neutras con pH alrededor de 7, también se mantiene incolora. Pero en soluciones básicas o alcalinas de pH mayor a 8.2, la fenolftaleína adquiere un color rosa o púrpura intenso. Este cambio de color la convierte en una herramienta para determinar la acidez o alcalinidad de una solución.

Una vez rotas las muestras de hormigón, se realizó la colocación del reactivo fenolftaleína justo sobre las líneas de rotura de las mismas. Normalmente, la patología de carbonatación degrada del concreto y permite que se generen fisuras. La fenolftaleína fue aplicada precisamente en las grietas y su rango cercano de tal forma que se pueda evidenciar la cualidad de hormigón joven no degradado. Esta prueba permitió establecer la alcalinidad del hormigón, la cual es una cualidad de un hormigón en perfecto estado.

**Figura 30**

Aplicación de la fenolftaleína I.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

**Figura 31**

Aplicación de la fenolftaleína II.



Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

### 3.3.1.3 Cuadro Comparativo

En este punto, para poder realizar una comparación adecuada que permita solventar las interrogantes y determinar las observaciones realizadas en el cuadro comparativo, se realizó un formulario de registro formal. Esto permitió una mayor facilidad de identificación de diferencias y similitudes. La estructura del formulario fue la siguiente:

**Tabla 6**

Cuadro comparativo.

DIAS DE EXPOSICION	RESISTENCIA TEORICA	MODULO DE ROTURA	PH	PORCENTAJES	ADITIVO
					SIN ADICTIVOS
					CON AMBOS ADITIVOS
					MICROESFERAS HUECAS DE VIDRIO TIPO 1
					ADIFER

Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

El cuadro comparativo estuvo basado en los criterios de resistencia de los ensayos realizados que en su mayoría fueron de viguetas de hormigón alternando las mezcla con distintos porcentajes de los aditivos propuestos. En dicho sentido, fue importante considerar que la resistencia a flexión de las viguetas en forma teórica resulta de un 10% a 20% de la resistencia diseñada para la compresión.

### 3.3.1.4 Bitácora Valorada

Para realizar un presupuesto detallado se hizo aprovechamiento de una de las estrategias formulada en la etapa de planificación de la investigación. Normalmente, en la planificación de cualquier proyecto se formula un cronograma de actividades, pero se suelen tener valores referenciales conocidos previos a la ejecución de los rubros y actividades. Para el presente caso, la investigación pretendió acercar a los tesisistas a la práctica real y, por lo tanto, los precios no se conocieron previamente. Para ello

se planificó registrar cada valor monetario mientras se desarrollaba el proyecto. Para dicho propósito se requirió del cronograma de actividades.

Tabla 7

Bitácora de la investigación definida en la planificación.

ACTIVIDADES	RESPONSABLE	JULIO							AGOSTO		
		1/7/2024	3/7/2024	4/7/2024	5/7/2024	11/7/2024	12/7/2024	18/7/2024	19/7/2024	1/8/2024	2/8/2024
COMPRA DE MATERIALES DE BASE PARA LOSAS	ANNA TORRES SANCHEZ LUIS ORBE VIVAR										
COMPRA DE ADICTIVOS MICROESFERAS HUECAS Y AISLANTE TERMICO											
ENSAYO DE GRANULOMETRIA DE MATERIALES											
ENSAYO DE GRAVEDADES ESPECIFICAS											
MEZCLA DE MATERIALES CON LOS TESTIGOS CON ADICTIVOS Y SIN											
MEZCLA DE MATERIALES CON TESTIGOS INDIVIDUALES DE DISEÑO DE BRIQUETAS ADICTIVO ADIFIBER Y ADICTIVO MICROESFERAS TIPO 1											
CURADO PREVIO CON TESTIGOS SIN Y CON											
CURADO PREVIO CON LOS TESTIGOS ADICTIVO 1 Y ADICTO 2											
ENSAYO DE COMPRESION DE LAS MUESTRAS											
COMPRA DE FENOLFTALEINA 1%											
COMPRA DE TIRAS DE PH											
ENSAYO DE FENOLFTALEINA 1%											
PERFIL DE CARBONATACION											

Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

### **3.4 Población y Muestra**

#### **3.4.1 Conjunto Población**

La población del presente estudio fue constituida por aquellas muestras de hormigón convencional que se planificó elaborar para su posterior análisis. Fue un conjunto cuyos elementos compartieron una cualidad común la cual fue determinada por la configuración de proporciones clásica que habitualmente se practica en el contexto nacional. Además, el apoyo técnico del laboratorio Paco Alcoser contribuyó para que esta característica común se mantuviera constante aplicando las normas NTE INEN requeridas para la realización de los ensayos y la fabricación del concreto.

#### **3.4.2 Subconjunto Muestra**

La muestra fue elegida de acuerdo con los principios de la técnica de muestreo determinada en la siguiente sección. En general, la muestra quedó determinada para el presente estudio como el subconjunto de la población que contenía a los concretos fraguados con algún tipo de aditivo que se esperaba mejorara sus propiedades, particularmente, la propiedad de resistencia a la compresión.

Hernández y Carpio (2019), resaltaron la importancia de seleccionar una muestra representativa en la investigación, dado que estudiar toda la población puede ser costoso y poco práctico. La muestra, un subconjunto de la población, debe ser cuidadosamente seleccionada para asegurar que refleje las características de la población en número y calidad, permitiendo así generalizar los resultados con validez. La representatividad cualitativa se logra estableciendo criterios de inclusión y exclusión, que definen qué elementos deben formar parte del estudio y cuáles no, así como criterios de eliminación para ajustar la muestra durante la investigación.

### **3.5 Tipos de Muestra en Investigación Cualitativa**

La técnica de muestreo aplicada fue de tipo no probabilístico dado que, en investigaciones mixtas se permite aplicar este tipo de muestreo ya que, una parte de la investigación está enmarcada en el enfoque cualitativo. Precisamente, las técnicas de muestreo no probabilístico son utilizadas por estos últimos enfoques que, aunque precinden de la herramienta de la generalización de los resultados a la población objetivo, pueden llegar a tener enorme validez interna en los casos de estudio.

Velázquez (s.f.), sostuvo que el muestreo deliberado, crítico o por juicio es una técnica de muestreo no probabilístico en la que los investigadores eligen a los

miembros de la muestra basándose en su conocimiento y juicio. Esta técnica es útil cuando la población objetivo tiene características específicas que no pueden ser capturadas por otros métodos de muestreo. Aunque puede ofrecer resultados precisos con un mínimo margen de error, depende en gran medida de la competencia y comprensión del investigador, lo que podría introducir sesgos. Este tipo de muestreo se emplea cuando hay limitaciones de tiempo y se prefiere confiar en el conocimiento del investigador en lugar de otros métodos de selección. Sin embargo, su principal desventaja es que la efectividad del muestreo depende de la habilidad y seguridad del investigador en su juicio.



## CAPÍTULO IV PROPUESTA O INFORME

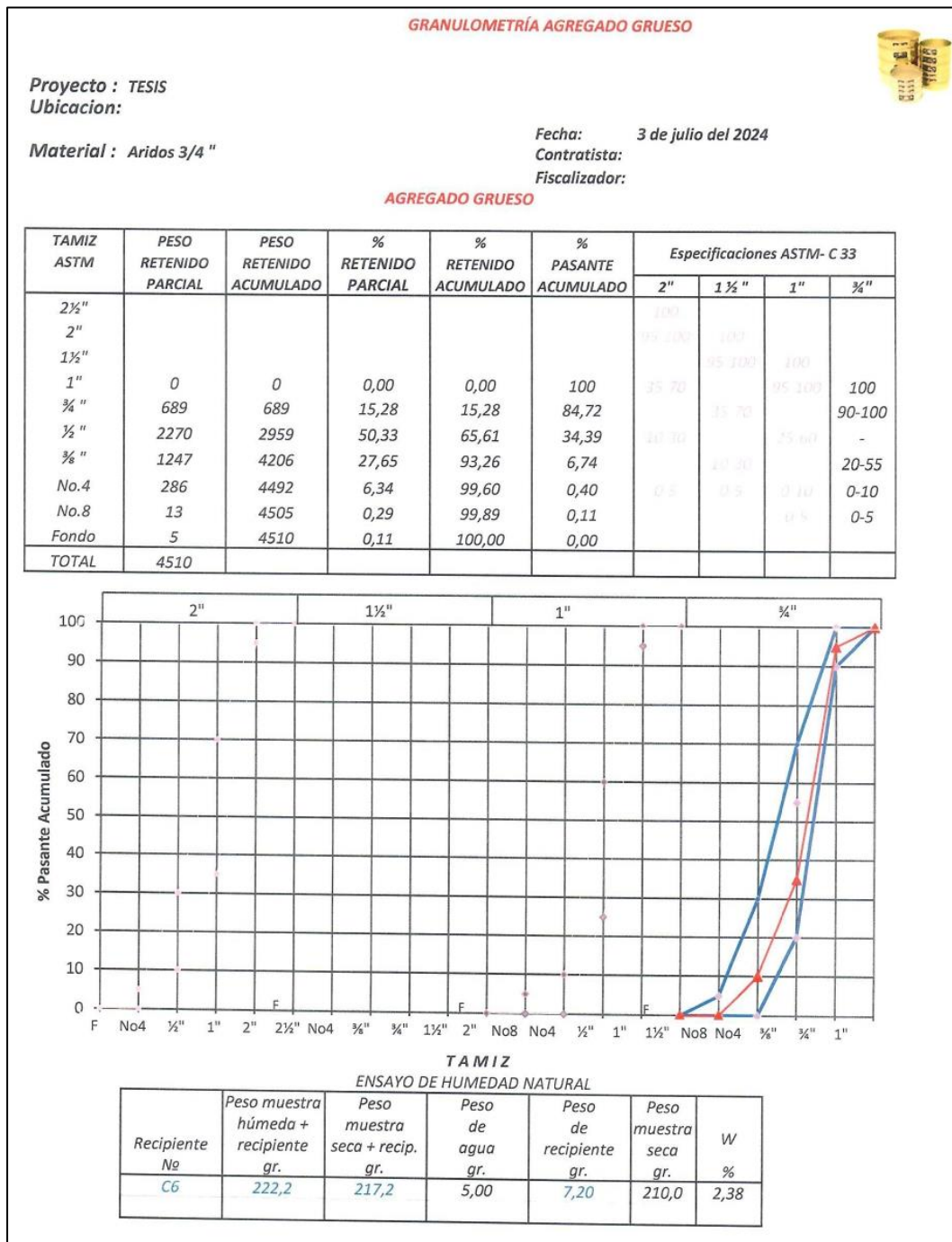
### 4.1 Presentación y Análisis de Resultados

#### 4.1.1 Resultados de Resistencia a la Compresión del Concreto

##### 4.1.1.1 Resultados de los Ensayos a los Agregados

**Figura 32**

Granulometría del agregado grueso.




Fuente: Laboratorio Paco Alcoser, (2024)

Los ensayos granulométricos mostraron una distribución bastante regular del agregado grueso dado que, de este se esperarías un tamaño nominal de partículas bien graduadas, es decir, consistentes a un tamaño específico de partícula. Si las partículas tienen todo un mismo tamaño es mayormente fácil controlar y las cantidades de cemento a dosificar en la mezcla.

**Figura 33**

Peso específico del agregado grueso.

<b>PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO</b>		
		
<b>Proyecto :</b> TESIS		
<b>Ubicación:</b>	<b>Fecha:</b> 4 de julio de 2024	
<b>Material :</b> Aridos 3/4"	<b>Contratista:</b>	
	<b>Fiscalizador:</b>	
PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO ( EN EL AIRE )	A	4000,00
PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO ( SUMERGIDO )	B	2634
VOLUMEN DE LA MASA + VOLUMEN DE VACIOS	C = (A-B)	1366,00
PESO DE MATERIAL SECO	D	3958,00
VOLUMEN DE LA MASA	E = C-(A - D)	1324,00
<b>PESO ESPECIFICO BULK ( BASE SECA )</b>	D/C	<b>2,898</b>
<b>PESO ESPECIFICO BULK (BASE SATURADA)</b>	A/C	<b>2,928 *</b>
<b>PESO APARENTE (BASE SECA)</b>	D/E	<b>2,989</b>
<b>ABSORCIÓN</b>	(A-D)/Dx100	<b>1,06</b>

Fuente: Laboratorio Paco Alcoser, (2024)

**Figura 34**

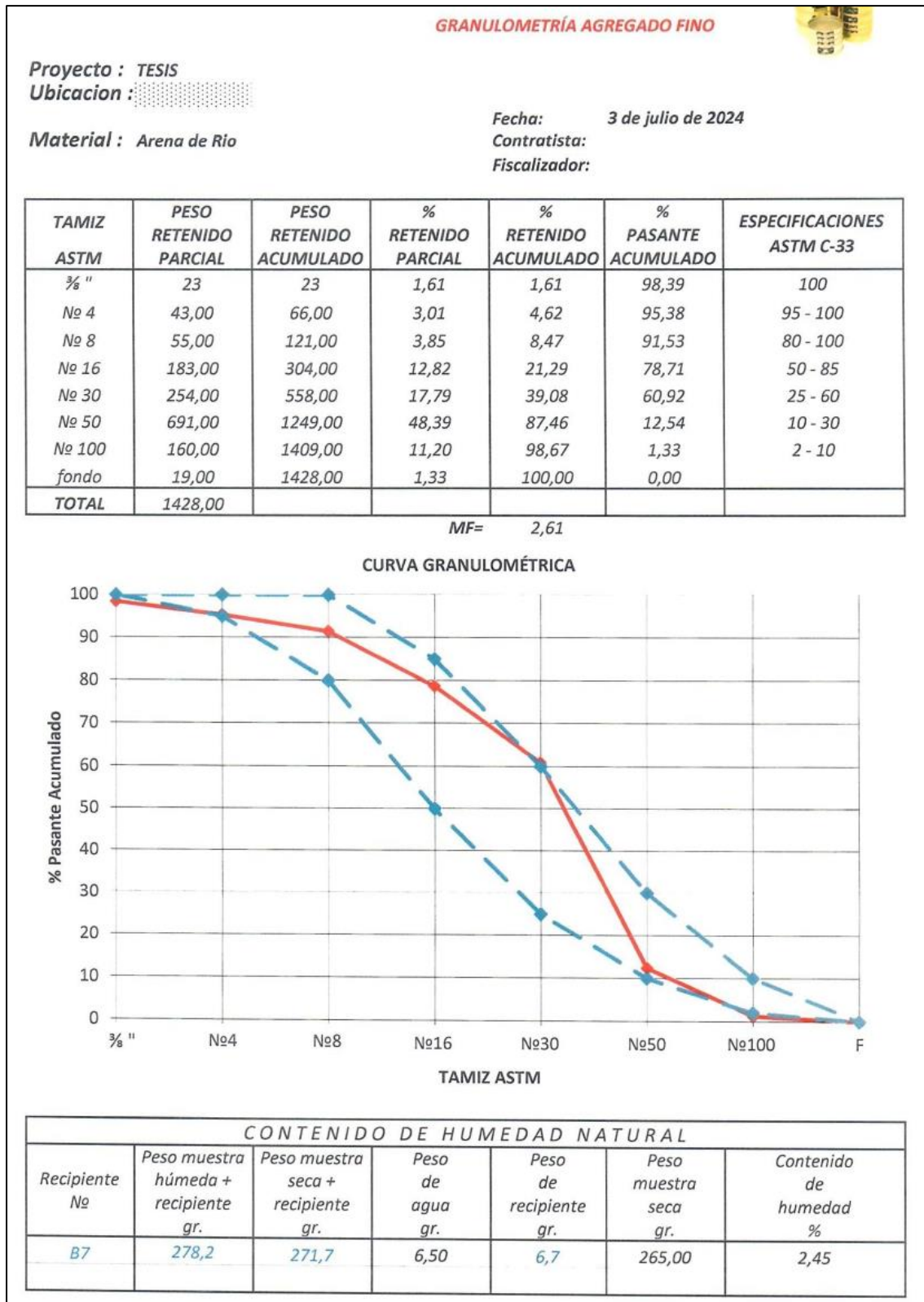
Peso volumétrico del agregado grueso.

<b>Peso Volumétrico Suelto, Varillado del Agregado Grueso</b>				
<b>Proyecto :</b> TESIS				
<b>Ubicación:</b>				
<b>Fecha:</b> 4 de julio de 2024				
<b>Material :</b> Aridos 3/4"				
<b>Contratista:</b>				
<b>Fiscalizador:</b>				
<b>PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (PVS)</b>				
Ensayo	#	1	2	3
Volumen de Molde	m3	0,009331018	0,009331018	0,009331018
Peso de Molde	Kg	5,440	5,440	5,440
Peso del Agregado + Molde	Kg	20,696	20,822	20,777
Peso del Agregado	Kg	15,256	15,382	15,337
Peso Unitario Suelto	Kg/m3	1635	1648	1644
Promedio		1642		Kg/m3
<b>PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (PVV)</b>				
Ensayo	#	1	2	3
Volumen de Molde	m3	0,009331018	0,009331018	0,009331018
Peso de Molde	Kg	5,440	5,440	5,440
Peso del Agregado + Molde	Kg	21,396	21,622	21,600
Peso del Agregado	Kg	15,956	16,182	16,160
Peso Unitario Suelto	Kg/m3	1710	1734	1732
Promedio		1725		Kg/m3

Fuente: Laboratorio Paco Alcoser, (2024)

**Figura 35**

Granulometría del agregado fino.



Fuente: Laboratorio Paco Alcoser, (2024)

La granulometría de los finos fue bastante regular también, aunque de la misma forma que con el agregado grueso, se esperaría una mejor graduación a un tamaño nominal de partícula específico. Sin embargo, la curva se mantuvo en su gran mayoría dentro de los límites establecidos bajo norma.

**Figura 36**

Peso específico del agregado fino.

<b>PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO</b>		
<b>Proyecto :</b>	TESIS	
<b>Ubicacion:</b>		<b>Fecha:</b> 4 de julio de 2024
<b>Material :</b>	ARENA - RIO CHIMBO	<b>Contratista:</b>
		<b>Fiscalizador:</b>
<b>PESO FRASCO (CALIBRADO CON AGUA)</b>	A	541,89
<b>PESO FRASCO (CALIBRADO CON AGUA) + PESO MATERIAL</b>	B	1826,40
<b>PESO FRASCO + AGUA + MATERIAL S.S.S. (EXTRAIDO EL AIRE)</b>	C	1635,40
<b>VOLUMEN DE LA MASA + VOLUMEN DE VACIOS</b>	D = (B-C)	191,0
<b>PESO DE MATERIAL SECO</b>	E	485,0
<b>VOLUMEN DE LA MASA</b>	F= D-(PESO MATERIAL S.S.S-E)	176,0
<b>PESO ESPECIFICO BULK (BASE SECA)</b>	E/D	2,539
<b>PESO ESPECIFICO BULK (BASE SATURADA)</b>	MAT. SSS/D	2,618 *
<b>PESO APARENTE (BASE SECA)</b>	E/F	2,756
<b>ABSORCIÓN</b>	((A-E)/E)x100	3,09

Fuente: Laboratorio Paco Alcoser, (2024)

**Figura 37**

Peso volumétrico del agregado fino.

<b>Peso Volumétrico Suelto del Agregado Fino</b>				
<b>Proyecto:</b>	TESIS			
<b>Ubicacion:</b>		<b>Fecha:</b>	4 de julio de 2024	
<b>Material :</b>	ARENA - RIO CHIMBO	<b>Contratista:</b>		
		<b>Fiscalizador:</b>		
<b>PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (PVS)</b>				
Ensayo	#	1	2	3
Volumen de Molde	m3	1,320	1,320	1,320
Peso de Molde	Kg	5,440	5,440	5,440
Peso del Agregado + Molde	Kg	7,300	7,344	7,228
Peso del Agregado	Kg	1,860	1,904	1,788
Peso Unitario Suelto	Kg/m3	1,409	1,442	1,355
Promedio			1,402	Kg/m3

Fuente: Laboratorio Paco Alcoser, (2024)

**Figura 38**

Diseño del hormigón I.

DISEÑO DE HORMIGÓN					
Proyecto : TESIS		Fecha: 4 de julio de 2024			
Administrador:		Contratista:			
DATOS DE LABORATORIO					
AGREGADO GRUESO					
Peso Vol. Suelto Kg/m <sup>3</sup>	Peso Vol. Varillado Kg/m <sup>3</sup>	Den.Sat.Sup.Seca Kg/m <sup>3</sup>	Absorción %	Tam.Máx. Nom. pulg	FUENTE DE MATERIAL
1642	1725	2928	1,06	3/4"	VIA SALITRE
AGREGADO FINO					
Peso Vol. Suelto Kg/m <sup>3</sup>	Den.Sat.Sup.Seca Kg/m <sup>3</sup>	Absorción %	Modulo de Finura	FUENTE DE MATERIAL	
1402	2756	3,09	2,62	RIO CHIMBO	
REQUERIMIENTOS TECNICOS					
Revenimiento	= 8 - 18 cm	Contenido de aire	= 2,0 %		
Resistencia específica f'c	= 280,0 Kg/cm <sup>2</sup>	Cantidad de agua	= 190,0 lts		
Resistencia requerida f'cr	= 364,0 Kg/cm <sup>2</sup>	Cantidad de cemento	= 431,8 Kg		
Factor de Modulo de Finura	= 0,560	Rel. Agua cemento (A/C)	= 0,44		
		Densidad del cemento	= 3150 Kg/m <sup>3</sup>		
CALCULOS					
VOLUMEN PARA 1m <sup>3</sup> DE HORMIGÓN			PESO EN Kg PARA 1m <sup>3</sup> DE HORMIGÓN		
Agua	= 190,0 ÷ 1000	= 0,190 m <sup>3</sup>	Agua	= 190,0 Kg	
Cemento	= 431,8 ÷ 3150	= 0,1371 m <sup>3</sup>	Cemento	= 431,8 Kg	
Aire	= 2,0 ÷ 100	= 0,0200 m <sup>3</sup>	Piedra	= 1725,0 x 0,560	= 966,0 Kg
Piedra	= 1725,0 x 0,560 ÷ 2928,0	= 0,3299 m <sup>3</sup>	Arena	= 2756,0 x 0,3230	= 890,2 Kg
Volumen total		= 0,6770 m <sup>3</sup>	Peso Total		= 2478,0 Kg
Arena	= 1 - 0,6770	= 0,3230 m <sup>3</sup>			
PESO VOLUMÉTRICO DEL HORMIGÓN			PESO EN KG. PARA UN SACO DE CEMENTO		
Agua		= 190,0 kg/m <sup>3</sup>	Agua	= 190,0 ÷ 8,636	= 22,0 Kg
Cemento		= 431,8 kg/m <sup>3</sup>	Cemento	= 431,8 ÷ 8,636	= 50,0 Kg
Piedra	= 966,0 x 1,0106	= 976,2 kg/m <sup>3</sup>	Piedra	= 976,2 ÷ 8,636	= 113,0 Kg
Arena	= 890,2 x 1,0309	= 917,7 kg/m <sup>3</sup>	Arena	= 917,7 ÷ 8,636	= 106,3 Kg
Peso Total		= 2515,7 kg/m <sup>3</sup>			
VOLUMEN SUELTO PARA UN SACO DE CEMENTO			CALCULO POR CAJONETAS 0,40 x 0,40 x 0,20m = 0,032m <sup>3</sup>		
Piedra	= 113,0 ÷ 1642,0	= 0,0688 m <sup>3</sup>	Piedra	= 0,0688 ÷ 0,032	= 2,15
Arena	= 106,3 ÷ 1402,0	= 0,0758 m <sup>3</sup>	Arena	= 0,0758 ÷ 0,032	= 2,37
DOSIFICACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE HORMIGÓN					
ALTERNATIVA 1			ALTERNATIVA 2		
f'cr	= 364,0 Kg/cm <sup>2</sup>		f'cr	= 364,0 Kg/cm <sup>2</sup>	
Cemento	= 50,0 Kg		Cemento	= 50,0 Kg	
Agua	= 22,0 Lts		Agua	= 22,0 Lts	
Piedra	= 2 1/7 CAJONETAS x 40 x 40 x 20cm		Piedra	= 3 CAJONETAS x 40x40 x	14,3 cm
Arena	= 2 3/8 CAJONETAS x 40 x 40 x 20cm		Arena	= 2 CAJONETAS x 40x40 x	23,7 cm
OBSERVACIONES: N <sup>o</sup> de sacos de cemento para 1m <sup>3</sup> de hormigón = 8,636					

Fuente: Laboratorio Paco Alcoser, (2024)

En el caso del diseño de hormigón se pudo constatar que un diseño de 280 kgf/cm<sup>2</sup> estuvo alineado a la temática de investigación dado que, se trata de la resistencia habitual para hormigones utilizados en losas macizas.

**Figura 39**

Diseño del Hormigón II.

DISEÑO DE HORMIGÓN					
Proyecto : TESIS			Fecha: 4 de julio de 2024		
Administrador:			Contratista:		
DATOS DE LABORATORIO					
AGREGADO GRUESO					
Peso Vol. Suelto Kg/m3	Peso Vol. Varillado Kg/m3	Den. Saf. Sup. Seca Kg/m3	Absorción %	Tam. Máx. Nom. pulg	FUENTE DE MATERIAL
1642	1725	2928	1,06	3/4"	VIA SALITRE
AGREGADO FINO					
Peso Vol. Suelto Kg/m3	Den. Saf. Sup. Seca Kg/m3	Absorción %	Modulo de Finura	FUENTE DE MATERIAL	
1402	2756	3,09	2,62	RIO CHIMBO	
REQUERIMIENTOS TECNICOS					
Revenimiento	= 8 - 18 cm	Contenido de aire	= 2,0 %		
Resistencia específica f'c	= 280,0 Kg/cm2	Cantidad de agua	= 230,0 lts		
Resistencia requerida f'cr	= 364,0 Kg/cm2	Cantidad de cemento	= 410,7 Kg		
Factor de Modulo de Finura	= 0,560	Rel. Agua cemento (A/C)	= 0,56		
		Densidad del cemento	= 3150 Kg/m3		
CALCULOS					
VOLUMEN PARA 1m3 DE HORMIGÓN			PESO EN Kg PARA 1m3 DE HORMIGÓN		
Agua	= 230,0 ÷ 1000	= 0,230 m3	Agua	= 230,0 Kg	
Cemento	= 410,7 ÷ 3150	= 0,1304 m3	Cemento	= 410,7 Kg	
Aire	= 2,0 ÷ 100	= 0,0200 m3	Piedra	= 1725,0 x 0,560	= 966,0 Kg
Piedra	= 1725,0 x 0,560 ÷ 2928,0	= 0,3299 m3	Arena	= 2756,0 x 0,2897	= 798,4 Kg
Volumen total		= 0,7103 m3	Peso Total		= 2405,1 Kg
Arena	= 1 - 0,7103	= 0,2897 m3			
PESO VOLUMÉTRICO DEL HORMIGÓN			PESO EN KG. PARA UN SACO DE CEMENTO		
Agua	= 230,0 kg/m3		Agua	= 230,0 ÷ 8,214	= 28,0 Kg
Cemento	= 410,7 kg/m3		Cemento	= 410,7 ÷ 8,214	= 50,0 Kg
Piedra	= 966,0 x 1,0106	= 976,2 kg/m3	Piedra	= 976,2 ÷ 8,214	= 118,8 Kg
Arena	= 798,4 x 1,0309	= 823,1 kg/m3	Arena	= 823,1 ÷ 8,214	= 100,2 Kg
Peso Total	= 2440,0 kg/m3				
VOLUMEN SUELTO PARA UN SACO DE CEMENTO			CALCULO POR CAJONETAS 0,40 x 0,40 x 0,20m = 0,032m3		
Piedra	= 118,8 ÷ 1642,0	= 0,0724 m3	Piedra	= 0,0724 ÷ 0,032	= 2,26
Arena	= 100,2 ÷ 1402,0	= 0,0715 m3	Arena	= 0,0715 ÷ 0,032	= 2,23
DOSIFICACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE HORMIGÓN					
ALTERNATIVA 1			ALTERNATIVA 2		
f'cr	= 364,0 Kg/cm2		f'cr	= 364,0 Kg/cm2	
Cemento	= 50,0 Kg		Cemento	= 50,0 Kg	
Agua	= 28,0 Lts		Agua	= 28,0 Lts	
Piedra	= 2 1/4 CAJONETAS x 40 x 40 x 20cm		Piedra	= 3 CAJONETAS x 40x40 x 15,1 cm	
Arena	= 2 1/4 CAJONETAS x 40 x 40 x 20cm		Arena	= 2 CAJONETAS x 40x40 x 22,3 cm	
OBSERVACIONES: Nº de sacos de cemento para 1m3 de hormigón = $\epsilon$ 8,214					


Fuente: Laboratorio Paco Alcoser, (2024)

Para poder alcanzar la resistencia requerida el laboratorio proporcionó dos alternativas dosificación basadas en las dimensiones de los envases que se podrían utilizar como herramientas para preparar la mezcla.

### 4.1.1.2 Resultados de Vigas y Cilindros.

Figura 40

Pruebas de vigas I.

<b>PRUEBA DE ROTURA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ASTM C 78 - AASHTO T 97</b>														
<p><b>PROYECTO:</b> TESIS PROPUESTA COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES MECANICAS ENTRE PAVIMENTO RIGIDO TRADICIONAL Y UNO ADICIONANDO FIBRAS  <b>ESTUDIANTES:</b> SRTA. ANNA TORRES - SR. IVAN ORBE</p> 														
VIGA Nº	FECHA DE TOMA	LUGAR DE TOMA Y DESTINO	REVENIMIENTO cm	EDAD días	FECHA DE ROTURA	PESO Kg	DIMENSIONES cm			CARGA MÁXIMA APLICADA			MÓDULO DE ROTURA	
							L	b	a	LEIDA KN	REAL KN	REAL Kg	Kg/cm2	MPa
1	04-julio-2024	LABORATORIO DISEÑO TRADICIONAL	10,0	7	11-julio-2024	-	45	15	15	22,5	22,275	2301,11	30,68	3,01
2	04-julio-2024	LABORATORIO DISEÑO TRADICIONAL	10,0	14	18-julio-2024	-	45	15	15		0,000	29,69	0,40	0,04
3	04-julio-2024	LABORATORIO DISEÑO TRADICIONAL	10,0	28	01-agosto-2024	-	45	15	15		0,000	29,69	0,40	0,04
1	04-julio-2024	DISEÑO ADIFIBER-MICROESFERAS 4,5%	3,0	7	11-julio-2024	-	45	15	15	9,1	9,009	948,35	12,64	1,24
2	04-julio-2024	DISEÑO ADIFIBER-MICROESFERAS 4,5%	3,0	14	18-julio-2024	-	45	15	15		0,000	0,00	0,00	0,00
3	04-julio-2024	DISEÑO ADIFIBER-MICROESFERAS 4,5%	3,0	28	01-agosto-2024	-	45	15	15		0,000	0,00	0,00	0,00


Resistencia especificada = 3,5      Carga real (kg) = Carga (KN) x 101,971621 + 29,69      Peso de la barra de acero sobre los tercios centrales = 29,69 Kg

Fuente: Laboratorio Paco Alcoser, (2024)

Los ensayos de resistencia de resistencia se hicieron en su mayoría para la flexión de viguetas de hormigón simple considerando que también se buscó conocer cómo respondía el hormigón con los aditivos propuestos a las cargas por flexión.

**Figura 41**

Pruebas de vigas II.

<b>PRUEBA DE ROTURA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN ASTM C 78 - AASHTO T 97</b>														
														
<b>PROYECTO:</b> TESIS PROPUESTA COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES MECANICAS ENTRE PAVIMENTO RIGIDO TRADICIONAL Y UNO ADICIONANDO FIBRAS <b>ESTUDIANTES:</b> SRTA. ANNA TORRES - SR. IVAN ORBE														
VIGA No	FECHA DE TOMA	LUGAR DE TOMA Y DESTINO	REVENIMIENTO cm	EDAD días	FECHA DE ROTURA	PESO Kg	DIMENSIONES cm			CARGA MÁXIMA APLICADA			MÓDULO DE ROTURA	
							L	b	a	LEIDA KN	REAL KN	REAL Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1	05-julio-2024	LABORATORIO DISEÑO ADIFIBER 1,5%	3,5	7	12-julio-2024	-	45	15	15	16,8	16,632	1725,68	23,01	2,26
2	05-julio-2024	LABORATORIO DISEÑO ADIFIBER 1,5%	3,5	14	19-julio-2024	-	45	15	15		0,000	29,69	0,40	0,04
3	05-julio-2024	LABORATORIO DISEÑO ADIFIBER 1,5%	3,5	28	02-agosto-2024	-	45	15	15		0,000	29,69	0,40	0,04
1	05-julio-2024	LABORATORIO DISEÑO MICROESFERAS 1,0%	8,0	7	12-julio-2024	-	45	15	15	11,4	11,286	1180,54	15,74	1,54
2	05-julio-2024	LABORATORIO DISEÑO MICROESFERAS 1,0%	8,0	14	19-julio-2024	-	45	15	15		0,000	0,00	0,00	0,00
3	05-julio-2024	LABORATORIO DISEÑO MICROESFERAS 1,0%	8,0	28	02-agosto-2024	-	45	15	15		0,000	0,00	0,00	0,00

Resistencia especificada = 3,5      Carga real (kg) = Carga (KN) x 101,971621 + 29,69      Peso de la barra de acero sobre los tercios centrales = 29,69 Kg

Fuente: Laboratorio Paco Alcoser, (2024)

Normalmente, la resistencia a la flexión de viguetas de hormigón simple se expresa como el módulo de rotura.



### 4.1.2 Resultados Bitácora Valorada

Tabla 8

Resultados de la bitácora valorada.

ACTIVIDADES	RESPONSABLE	JULIO								AGOSTO		
		1/7/2024	3/7/2024	4/7/2024	5/7/2024	11/7/2024	12/7/2024	18/7/2024	19/7/2024	1/8/2024	2/8/2024	
COMPRA DE MATERIALES DE BASE PARA LOSAS	ANNA TORRES SANCHEZ LUIS ORBE VIVAR	47.50										
COMPRA DE ADICTIVOS MICROESFERAS HUECAS Y AISLANTE TERMICO		114.16										
ENSAYO DE GRANULOMETRIA DE MATERIALES			150.00									
ENSAYO DE GRAVEDADES ESPECIFICAS			90.00									
MEZCLA DE MATERIALES CON LOS TESTIGOS CON ADICTIVOS Y SIN					20.00							
MEZCLA DE MATERIALES CON TESTIGOS INDIVIDUALES DE DISEÑO DE BRIQUETAS ADICTIVO ADIFIBER Y ADICTIVO MICROESFERAS TIPO 1						15.00						
CURADO PREVIO CON TESTIGOS SIN Y CON							25.00		25.00		25.00	
CURADO PREVIO CON LOS TESTIGOS ADICTIVO 1 Y ADICTO 2								25.00		25.00	25.00	
ENSAYO DE COMPRESION DE LAS MUESTRAS							62.50	62.50	62.50	62.50	62.50	
COMPRA DE FENOLFTALEINA 1%							8.00					
COMPRA DE TIRAS DE PH							2.00					
ENSAYO DE FENOLFTALEINA 1%							5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
PERFIL DE CARBONATACION							0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>TOTAL</b>		\$161.66	\$240.00	\$20.00	\$15.00	\$102.50	\$92.50	\$92.50	\$92.50	\$92.50	\$92.50	\$1,001.66

Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

Figura 42

Factura 1: Cemento – Compra de materiales.

SERVICON  
1103174445001  
Sucursal: BASTION POPULAR BLOQUE 5 MZ  
884 SOLAR 10-4  
Telefono:  
Obligado a llevar Contabilidad: SI  
DNA #:3614

Cajero: gmolina  
Fecha: 04/07/2024 Hora: 12:07:05  
Cliente: Consumidor Final  
Email: noname@noname.com  
Telefono: 000000  
Direccion: xxxxxx  
Cedula/RUC: 9999999999

DESCRIP	CANT	P.UNIT	P.TOTAL
Cemento Rocaf Saco-	2	\$7.90	\$15.8
Total			15.80

Forma de pago:  
Efectivo: \$15.80

Recibido: \$15.80 Cambio: \$0

DOCUMENTO SIN VALIDEZ TRIBUTARIA

CS Escaneado con CamScanner

Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

Figura 43

Factura 2: Adifiber – Compra de materiales.

HOME CENTERS ECUATORIANOS S.A.S.  
RUC: 1793194511001

PROMART  
MATRIZ: PICHINCHA / QUITO / QUITO DISTRITO METROPOLITANO / DEL ESTABLO 50 Y CALLE E  
SUCURSAL: GUAYAS / GUAYAQUIL / PASCUALES / AV FRANCISCO DE ORELLANA SN Y C24

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD SI


FACTURA ELECTRONICA  
Nro 002-005-000013411

NUMERO DE AUTORIZACION/CLAVE DE ACCESO  
0407202401179319451100120020050000134110001341114  
AMBIENTE: PRODUCCION  
EMISION: NORMAL

FECHA: 04/07/24  
CLIENTE: CONSUMIDOR FINAL  
ID: 9999999999999  
DIRECCION:  
E-MAIL:

COD	CANT	UM	IVA	DESCRIPCION	P. UNIT	P. TOTAL
7861169307798	1	UNI	**	ADIFIBER N REFUERZO	16,2087	16.21
DES0001				CR % DE DESCUENTO		-7.30
				SUBTOTAL 15%		16.21
				SUBTOTAL 0%		0.00
				DESCUENTO 15%		7.30
				DESCUENTO 0%		0.00
				BASE NETA 15%		8.91
				BASE NETA 0%		0.00
				VENTA NETA SIN IMPUESTOS		8.91
				IVA 15%		1.34
				TOTAL IVA		1.34
				VALOR TOTAL		10.25
				IVA BIENES		1.34
				IVA SERVICIOS		0.00
				BASE BIENES		8.91
				BASE SERVICIOS		0.00
				FORMA DE PAGO: EFECTIVO		10.25

Consulte sus documentos electronicos de HOME CENTERS ECUATORIANOS S.A.S. en la pagina [www.promart.ec](http://www.promart.ec)



0101040720240054056

Fecha de emision: 04/07/24 Hora: 15:12  
0101 0005 4056 005 FATIMA DEL ROCIO GAL

CS Escaneado con CamScanner

Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

Tabla 9

Análisis de precios unitarios correspondientes de fabricación de hormigón.

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
Rubro : HORMIGON ESTRUCTURAL f 'c = 280 kg/ m2				Unidad: M3	
Detalle :					
<b>EQUIPOS</b>					
Descripción	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo hora C=(AxB)	Rendimiento R	Costo D=(CxR)
HERRAMIENTAS MENORES (5% M.O.)					0.07
<b>SUB TOTAL (M)</b>					0.07
<b>MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad (A)	Jornal/hr (B)	Costo hora C=(AxB)	Rendimiento R	Costo D=(CxR)
AYUDANTE	8.00	3.01	24.08	0.06	1.44
<b>SUB TOTAL (N)</b>					1.44
<b>MATERIALES</b>					
Descripcion	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario (B)	Costo C=(AxB)	
CEMENTO	SACO	2.00	7.90	15.80	
ARENA	M3	0.60	19.00	11.40	
PIEDRA 3/4	M3	0.95	20.00	19.00	
AGUA	M3	0.08	1.50	0.12	
ADIFIBER	M3	3.00	10.25	30.75	
MICROESFERAS DE VIDRIO TIPO 1	M3	25.00	1.14	28.50	
PAPEL INDICADOR PH 0-14	CAJA	1.00	12.00	12.00	
FENOLFTALEINA 1%	LT	1.00	63.55	63.55	
				0.00	
<b>SUB TOTAL (O)</b>					181.12
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	Unidad	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo C=(AxB)	
<b>SUB TOTAL (P)</b>					0.00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					182.64
<b>INDIRECTOS 15%</b>					27.40
<b>UTILIDAD 5%</b>					9.13
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					219.16
<b>VALOR OFERTADO</b>					219.16

Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

El análisis de precios unitarios contiene el desglose del rubro Hormigón Estructural f'c = 280 kg/cm<sup>2</sup> en el costo directo de los cuatro recursos principales para realizar una tarea que son equipos, mano de obra, materiales y transporte. Además, costos indirectos calculados por porcentaje.

**Tabla 10**

Tabla de rubros y cantidades.

VIGAS - CILINDRO						
MATERIAL	UNIDAD	CANT.	P. UNITARIO	SUB. TOTAL	IVA 15%	TOTAL
FENOLFTALEINA 1%	LT	1.00	63.55	63.55	9.53	73.08
PAPEL INDICADOR PH 0-14	CAJA	1.00	12.00	12.00	1.80	13.80
MICROESFERA DE VIDRIO TIPO 3	KG	25.00	1.14	28.50	4.28	32.78
ADIFER	GR	3.00	10.25	30.75	4.61	35.36
PIEDRA 3/4	KG	2.00	1.10	2.20	0.00	2.20
ARENA	KG	2.00	1.10	2.20	0.00	2.20
CEMENTO	KG	2.00	7.90	15.80	0.00	15.80
TOTAL DE COSTO				155.00		175.22

Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

Esta tabla contiene exclusivamente los materiales, costos, y respectivas cantidades en las unidades que se muestran.

### 4.1.3 Resultados del Cuadro Comparativo

**Tabla 11**

Resultados de cuadro comparativo I – Tiempo de exposición: 7 días.

DIAS DE EXPOSICION	RESISTENCIA TEORICA	MODULO DE ROTURA	PH	PORCENTAJES	ADITIVO
7	18.2 - 36.4	30.68	14.00	100.00%	<b>SIN ADITIVOS</b>
	18.2 - 36.4	12.64	13.00	4.50%	<b>CON AMBOS ADITIVOS</b>
	18.2 - 36.4	16.80	8.00	1.00%	<b>MICROESFERAS HUECAS DE VIDRIO TIPO 1</b>
	18.2 - 36.4	11.10	11.00	1.50%	<b>ADIFIBER</b>

Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

**Tabla 12**

Resultados de cuadro comparativo II – Tiempo de exposición: 14 días.

DIAS DE EXPOSICION	RESISTENCIA TEORICA	MODULO DE ROTURA	PH	PORCENTAJES	ADITIVO
14	25.2 - 50.4	33.51	11.00	100.00%	<b>SIN ADITIVOS</b>
	25.2 - 50.4	14.79	12.00	4.50%	<b>CON AMBOS ADITIVOS</b>
	25.2 - 50.4	19.73	7.00	1.00%	<b>MICROESFERAS HUECAS DE VIDRIO TIPO 1</b>
	25.2 - 50.4	25.84	10.00	1.50%	<b>ADIFIBER</b>

Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

**Tabla 13**

Resultados de cuadro comparativo III – Tiempo de exposición: 28 días.

DIAS DE EXPOSICION	RESISTENCIA TEORICA	MODULO DE ROTURA	PH	PORCENTAJES	ADITIVO
28	28 - 56	50.20	10.00	100.00%	<b>SIN ADITIVOS</b>
	28 - 56	19.60	7.00	4.50%	<b>CON AMBOS ADITIVOS</b>
	28 - 56	22.32	7.00	1.00%	<b>MICROESFERAS HUECAS DE VIDRIO TIPO 1</b>
	28 - 56	30.68	6.00	1.50%	<b>ADIFER</b>

Elaborado por: Orbe y Torres, (2024)

#### **4.1.4 Análisis de Resultados**

Teniendo en cuenta que para una mezcla de hormigón se prefiere que los agregados sean de tamaño lo más homogéneo posible, los agregados utilizados en la presente investigación cumplieron con mantenerse dentro de un rango de tamaños máximos nominales. Esto hizo posible una mezcla bastante homogénea.

Los resultados de la tabla comparativa mostraron que el pH, pese a que tiene la tendencia a disminuir de acuerdo con el aditivo y porcentaje que se utilice, la reducción se produce en mayor medida con el aditivo de microesferas huecas de vidrio. Por el contrario, tiende a mantenerse un poco más en las muestras que fueron aditivadas con adifiber. Además, este cuadro permitió registrar los valores de resistencia y asociarlos al resto de propiedades estudiadas de los elementos de concreto y se pudo evidenciar que las resistencias con los aditivos propuestos no llegaron a valores mínimos deseables o requeridos por norma.

La bitácora valorada fue un instrumento muy útil para poder determinar el presupuesto referencial. Si bien fue cierto, requirió la rigurosidad y disciplina de anotar cada valor económico cuanto rápido se pueda una vez desembolsados los valores, permitió un acercamiento real de un estudio real para constatar la patología habitual de carbonatación del hormigón.

## CONCLUSIONES

- Se concretó mediante la ejecución de los ensayos de resistencia del hormigón. De esta forma se analizaron cuantitativamente los elementos de concreto con distintas proporciones de aditivos. El proceso fue controlado desde la preparación de la mezcla y los respectivos ensayos a los agregados hasta la adición de los porcentajes de microesferas de vidrio y adifiber para su posterior rotura en la prensa hidráulica. En este sentido, las roturas se realizaron en su mayoría a viguetas de concreto simple, considerando que la resistencia a flexión se encuentra teóricamente entre un 10% a 20% de la resistencia nominal a compresión. De manera que estos valores debían oscilar entre 28 kg/cm<sup>2</sup> a 56 kg/cm<sup>2</sup>, siendo que el diseño puro de la mezcla fue para un concreto de 280 kg/cm<sup>2</sup>.
- La aplicación del reactivo fenolftaleína permitió cumplir con el segundo objetivo específico al dado que, al momento de las roturas de los elementos de hormigón se aplicaron precisamente sobre las líneas de falla. Esto permitió que la fenolftaleína tenga un mayor grado de penetración sobre los elementos y pudiera simular el proceso patológico de la carbonatación. Este último es un proceso químico que degrada el concreto y facilita que los agentes externos del ataque el acero de refuerzo y posteriormente se generen fisuras en las etapas tempranas de la carbonatación. Por ello, se concluyó que el proceso fue completado en su totalidad para este objetivo.
- Mediante la herramienta del cuadro comparativo se pudieron realizar inferencias sobre la influencia de la carbonatación prematura en hormigones con los aditivos microesferas huecas de vidrio y aislante térmico adifiber. Esto permitió dar cumplimiento al tercer objetivo específico dado que las comparaciones de los valores de pH pudieron ser cotejados con los respectivos valores de resistencia y porcentajes de dosificación de los aditivos que los elementos contenían su mezcla matriz.
- Gracias al registro riguroso de los gastos que se iban presentando durante el desarrollo de la tesis, se pudo generar un presupuesto con precisión y de esta forma darle cumplimiento al cuarto objetivo específico mediante la elaboración de análisis de precios unitarios, los cuales consideran un rubro constructivo y



lo desglosan en los costos directos asociados a los principales recursos necesarios al momento de realizar tareas de construcción, a saber: equipos, mano de obra, materiales y transporte. Los registros se plasmaron sobre una bitácora valores, es decir, un cuadro que guardaba el cronograma de actividades junto con una casilla que permitía el registro de un valor monetario asignado a tal actividad.

## RECOMENDACIONES

- Generar una cámara de dióxido de carbono artificial para acelerar el proceso de carbonatación del concreto y así poder estudiar de forma más eficiente la patología del hormigón para losas.
- Realizar una lista de requerimientos para mejorar el proceso de planificación de costos previos al desarrollo de proyectos.
- Procedimientos más estandarizados para la elaboración de las mezclas de concreto con aditivos presupuestados.

## BIBLIOGRAFÍA

- (CSIC), t. E. (2020, APRIL 24). *the Eduardo Torroja Institute of Spanish National Research Council (CSIC)*. Retrieved JUL 20, 2024, from <https://www.ietcc.csic.es/noticias/como-influye-la-corrosion-en-la-salud-del-hormigon-how-does-corrosion-influence-the-health-of-concrete/>
- Castillo Benavides, M. N., y Ramírez Vásquez, A. C. (2024). *Proceso de carbonatación en concretos hidráulicos expuestos a ambientes marinos*. Repositorio Institucional - Universidad de Cartagena: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/17629>
- Catari Falcón, N. Y. (2021). *Evaluación del proceso de carbonatación y cambio de pH del concreto en el Canal del túnel - Río Asana, 2018*. DSpace - Universidad José Carlos Mariátegui: <https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/1022>
- Chinchón Payá, S. (2021). Uso de antocianinas como indicadores para comprobar la carbonatación de morteros y hormigones. *Cemento Hormigón*.
- Chine Polito, B., Cuevas Kauffmann, R., Jiménez Salas, R., y Ortiz Quesada, G. (2019). *Estudio experimental de la carbonatación del concreto*. SciELO: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0379-39822019000200068](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822019000200068)
- Chiriboga Chiriboga, C., Maldonado Noboa, J., & Chiriboga Zúñiga, B. (2022). Influencia de la corrosión en varillas de acero de refuerzo, y sus efectos en la resistencia estructural de edificaciones. *MQR Investigar*.
- Collaguazo Chipantasi, E. D., y Sarmiento Tapia, W. R. (2019). *Estudio experimental de la influencia de microesferas de vidrio en la respuesta mecánica a flexión de estructuras panel reforzadas con espumas sintéticas*. BIBDIGITAL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20218>
- CRISTHIAN PONGUILLO, J. P. (2023). *FORMULACION DE PROYECTOS*. ULVR, GUAYAQUIL. Retrieved MAYO 09, 2023.
- De la Cruz Vega, S., Dueñas Tovar, L., Mendoza Flores, C., y Garrido Oyola, J. (2022). *Resistencia a compresión simple del concreto con yeso y residuos de conchas de abanico*. SciELO: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602022000100001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602022000100001&script=sci_arttext)

- Ebensperger, L., y Olivares, M. (2023). *Mediciones in-situ de la tasa de carbonatación y la permeabilidad al aire para el desarrollo de una propuesta de clasificación de exposición por carbonatación*. SciELO: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732023000300419](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732023000300419)
- ESPINOSA, J. (2022, JUNIO 15). *ULVR*. (PONGUILLO, Editor) Retrieved MAYO 09, 2023, from UNIDAD DE TITULACION: <https://www.ulvr.edu.ec/academico/unidad-de-titulacion/proyecto-de-investigacion>
- Gómez Nemocón, S. A. (2019). *Efectos de la adición de microesferas huecas de vidrio en concreto hidráulico*. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Colombia: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77244>
- González Blanc, F. S. (2020). *Estudio de vermiculita como árido para elaborar hormigones de baja densidad y aislante térmico*. Repositorio Digital ULVR: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4000>
- Guerra Mera, J. C., Puig Martínez, R., y Castañeda Valdés, A. (2023). Estado del arte sobre durabilidad de estructuras de hormigón armado en perfiles costeros. *Ingeniar*.
- Haro González, K. F. (2022). *Evaluación mecánica de bordillos prefabricados elaborados con hormigón que contiene áridos reciclados provenientes de elementos estructurales usados como sustituto parcial del árido natural*. DSpace - Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23241>
- Hernández Avila, C., y Carpio, N. (2019). Introducción a los tipos de muestreo. *ALERTA*.
- Iraola Pérez, A. M., Daquinta de la Cruz, A., y Rodríguez Loyola, L. (2024). *Solución a las patologías por carbonatación en los bloques habitacionales del “Hotel Colonial Cayo Coco”*. Universidad & Ciencia: <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/2496>
- León Consuegra, L., y Rodríguez García, C. (2022). *Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón*. *Estado del arte*. Revista de Arquitectura e Ingeniería: <https://www.redalyc.org/journal/1939/193972950003/193972950003.pdf>

- Montero, J. S. (2024, Jul. 20). *the Eduardo Torroja Institute of Spanish National Research Council (CSIC)*. <https://www.ietcc.csic.es/noticias/como-influye-la-corrosion-en-la-salud-del-hormigon-how-does-corrosion-influence-the-health-of-concrete/>
- Muñoz Morales, O. C., y Henao Aristizábal, M. C. (2023). *Revisión bibliográfica de rehabilitación de estructuras en concreto afectadas por carbonatación*. Repositorio Institucional - Universidad de Antioquia: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/37743>
- Muñoz, A., Torres, N., y Guzmán, A. (2019). *Evaluación de un mortero preparado con agregados reciclados de un concreto mejorado por carbonatación: Una mirada a la construcción sustentable*. SciELO: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732019000100025#aff1](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732019000100025#aff1)
- Ortiz, E., Macías, L., Delgado, D., y Zambrano, A. (2020). *Análisis comparativo entre un diseño de hormigón convencional y otro con fibras de*. Memorias de la Décima Conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informática y Cibernética (CICIC 2020): [https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Ortiz-9/publication/344339452\\_Analisis\\_comparativo\\_entre\\_un\\_diseno\\_de\\_hormigon\\_convencional\\_y\\_otro\\_con\\_fibras\\_de\\_polipropileno\\_empleando\\_agregados\\_de\\_la\\_cantera\\_basaltica\\_Picoaza/links/61ec4c029a753545e2ec49f6/](https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Ortiz-9/publication/344339452_Analisis_comparativo_entre_un_diseno_de_hormigon_convencional_y_otro_con_fibras_de_polipropileno_empleando_agregados_de_la_cantera_basaltica_Picoaza/links/61ec4c029a753545e2ec49f6/)
- Padilla Ramírez, A. J., Panamá Armendáriz, M. I., Hurtado López, G., Flores Bustamante, A., y López Ruiz, M. (2019). *Efecto de cargas inertes en las propiedades del concreto polimérico*. DSpace: <https://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/7870>
- Peña, D., Rodríguez, J., Salcedo, D., y Suárez Pereira, M. (2023). *Estimación de daños ocasionados por la carbonatación en estructuras de concreto armado en la ciudad de Nirgua*. SciELO: [https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1856-95602022000200088&script=sci\\_arttext](https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1856-95602022000200088&script=sci_arttext)
- Pico Cortés, C., y Villagrán Zaccardi, Y. (2024). Modelos predictivos e impacto ambiental de la carbonatación del hormigón con agregado reciclado: Una revisión. *Ingeniare*.
- Pole, K. (2009). *Diseño de metodologías mixtas. Una revisión de las estrategias para combinar metodologías cuantitativas y cualitativas*. Repositorio Institucional del ITESO: <https://blogs.ugto.mx/mdued/wp->

content/uploads/sites/66/2022/10/Diseno-de-metodologias-mixtas.-Una-revision-de-las-estrategias-para-combinar-metodologias-cuantitativas-y-cualitativas.pdf

- Potters. (s.f.). *Performance Materials*. Potters: <https://www.pottersindustries.com/micro-glass-beads/>
- Regalado Benavidez, L. S., y Vásquez Vásquez, J. J. (2023). *Desempeño de un concreto incorporando aditivo superplastificante y perlitas de poliestireno expandido reciclado como aislante térmico*. DSpace - Universidad Señor de Sipán: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/12069>
- Rojas Bejar, J. M. (2022). *Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de ph de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleina en la ciudad Quillabamba-Cusco 2021*. DSpace - Universidad Andina del Cusco: <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/5001>
- Ruíz Párraga, W. E., Menéndez Menéndez , E. A., Zambrano Navarrete, L. D., y Alava Santos, R. J. (2022). *Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón*. Gaceta Técnica: <https://biblat.unam.mx/es/revista/gaceta-tecnica/articulo/aplicacion-de-metodos-de-curado-y-su-influencia-en-la-resistencia-a-la-compresion-del-hormigon>
- Salazar Mayorga, L. F. (2023). *Evaluación de la resistencia a la corrosión debida a carbonatación en concretos con cementos pórtland adicionados con caliza y arcilla calcinada*. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Colombia: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83535>
- Saldaña Davila, N. J. (2023). *Influencia del reemplazo del agregado fino por vidrio reciclado en propiedades físico - mecánico del concreto 210 kg/cm<sup>2</sup>, 2022*. Repositorio Institucional - Universidad César Vallejo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/110644>
- Tamayo Tamayo, M. (2007). *Tipos de Investigación*. Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín: <https://virtual.urbe.edu/tesispub/0035065/cap03.pdf>
- Ulibarrie , F., y Vanney, S. (2023). *Acondicionamiento de probetas para el ensayo de carbonatación acelerada*. AJEA.
- Valencia Villegas, J. P., González Mesa, A. M., y Arbeláez Pérez, O. F. (2019). *Evaluación de las propiedades mecánicas de concretos modificados con*

*microesferas de vidrio y residuos de llantas.* Redalyc:  
<https://www.redalyc.org/journal/6139/613964509003/613964509003.pdf>

Velázquez, A. (s.f.). *Muestreo deliberado, crítico o por juicio.* QuestionPro:  
<https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-deliberado-critico-o-por-juicio/#:~:text=El%20muestreo%20deliberado%2C%20cr%C3%ADtico%20o,y%20el%20juicio%20del%20investigador.>

Villagrán Zaccardi, Y., Pico Cortés, C., y Zega, C. (2021). *Aspectos de la carbonatación del hormigón con agregado reciclado.* Repositorio Institucional CONICET Digital: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/149189>