



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Influencia del cambio de temperatura de curado en la resistencia final  
a la compresión del hormigón con cemento tipo HE**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

Ingeniero Civil

**Autores:**

**NICOLE VICTORIA HARRIS NARANJO**

**HUGO ALEJANDRO MOLINA TORRES**

**Tutor:**

**ING. VLADIMIR EUGENIO CARRASCO**

**Cuenca-Ecuador**

**2023**

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirme seguir adelante con mi carrera universitaria, brindándome fortaleza y pasión en todas las decisiones que he tomado para culminarla.

Con todo mi corazón a mis padres Oswaldo y Ermita, quienes son mi mayor motivación para nunca rendirme y seguir adelante a pesar de los momentos difíciles, siendo mi apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

A toda mi familia, que me animaron y creyeron en mí durante toda mi carrera universitaria, enseñándome que el valor y triunfo de la vida se consigue con el sacrificio y humildad.

**Nicole Victoria Harris Naranjo**

## **DEDICATORIA**

A mi madre Paula, mi abuela Teresa, mi tía María Augusta, a mis tíos Víctor, Diego y Juliana quienes fueron la razón por la que llegue a donde estoy, son los que me apoyaron en mis momentos más difíciles y me ayudaron a superar cualquier obstáculo que se presentó en mi vida, fueron mi mayor apoyo a lo largo de mi vida.

A toda mi familia en general, que me apoyaron a seguir esta carrera, quienes con una pequeña o grande ayuda lograron apoyarme en cualquier obstáculo que se me presentó y me enseñaron el valor de la humildad.

A mis amigos y compañeros de carrera más cercanos los cuales supieron alentarme en cualquier desliz que presenté en esta carrera, supieron brindarme su apoyo incondicional.

**Hugo Alejandro Molina Torres**

## **AGRADECIMIENTO**

El principal agradecimiento a Dios por iluminarnos en cada actividad realizada para poder culminar nuestra carrera universitaria.

Le hacemos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro tutor de tesis el ingeniero Vladimir Carrasco Castro, quien nos brindó su tiempo, conocimiento y confianza desde un principio. Gracias a su experiencia profesional y sobre todo su paciencia, fue quien nos supo guiar para que este trabajo de titulación se desarrolle de la mejor manera.

A todos los docentes de la Universidad del Azuay que gracias a sus enseñanzas impartidas en clase, pudimos aplicarlo en nuestro trabajo de titulación.

Agradecemos a todos nuestros compañeros y amigos que formaron parte de nuestra vida universitaria, quienes nos brindaron una linda amistad, apoyo y confianza.



**Resumen:**

Este estudio de investigación se centra en el comportamiento del curado a temperatura del hormigón. El curado del hormigón es un factor clave en el proceso constructivo, ya que determina las características definitivas de resistencia y durabilidad del material. En esta investigación, se fabricaron 36 especímenes de hormigón con la misma dosificación, los cuales fueron sometidos a diferentes temperaturas de curado: 30, 35 y 40 grados centígrados. Estas temperaturas se seleccionaron considerando nuestro entorno con el objetivo de optimizar el tiempo de curado en comparación con el método convencional a temperatura ambiente. Posteriormente, se realizaron pruebas de compresión en los especímenes, observando un incremento en las resistencias tempranas. Estos resultados indican la viabilidad de aplicar este método en trabajos de hormigón prefabricado.

**Palabras clave:** curado, durabilidad, hormigón, prefabricado, resistencia, temperatura.

**Abstract:**

This research study focuses on the temperature curing behavior of concrete. Concrete curing is a key factor in the construction process, since it determines the final characteristics of resistance and durability of the material. In this investigation, 36 concrete specimens were manufactured with the same dosage, which were subjected to different curing temperatures: 30, 35 and 40 degrees Celsius. These temperatures were selected considering our environment with the aim of optimizing the curing time compared to the conventional method at room temperature. Subsequently, compression tests were performed on the specimens, observing an increase in early resistance. These results indicate the feasibility of applying this method in precast concrete works.

**Keywords:** concrete, curing, durability, precast, resistance, temperature.



Este certificado se encuentra en el repositorio digital de la Universidad del Azuay, para verificar su autenticidad escanee el código QR

Este certificado consta de: 1 página

## Índice de Contenidos

INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES.....	2
OBJETIVOS .....	3
Objetivo general: .....	3
Objetivos específicos:.....	3
METODOLOGÍA .....	4
CAPÍTULO 1 : CONCEPTOS GENERALES .....	5
1.1    Hormigón.....	5
1.2    Componentes del hormigón.....	5
1.2.1 Cemento .....	5
□ Tipo I - Cemento Portland Ordinario: .....	6
□ Tipo II:.....	6
□ Tipo III: .....	6
□ Tipo IV: .....	6
□ Tipo V:.....	6
1.3    Áridos .....	7
1.3.1    Agregados finos: .....	7
1.3.2    Agregados gruesos: .....	7
1.4    Propiedades físicas de los áridos .....	9
1.4.1    Absorción .....	9
1.4.2    Seco al horno (SH):.....	9
1.4.3    Saturado superficialmente seco (SSS): .....	9
1.4.4    Densidad:.....	9
1.4.5    Densidad (SH):.....	9
1.4.6    Densidad (SSS): .....	9
1.4.7    Densidad aparente: .....	10
1.4.8    Densidad relativa (gravedad específica): .....	10
1.4.9    Densidad relativa (gravedad específica) (SH): .....	10
1.4.10    Densidad relativa (gravedad específica) (SSS): .....	10
1.4.11    Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente): .....	10
1.5    Agua .....	10

1.6	Aire .....	11
1.7	Aditivos .....	11
1.7.1	Aditivos plastificantes:.....	11
1.7.2	Aditivos superplastificantes:.....	11
1.7.3	Aditivos acelerantes:.....	11
1.7.4	Aditivos retardantes:.....	12
1.7.5	Aditivos introductores de aire:.....	12
1.7.6	Aditivos impermeabilizantes:.....	12
1.7.7	Aditivos espumantes:.....	12
1.8	Propiedades del concreto fresco .....	12
1.8.1	Consistencia:.....	12
1.8.2	Trabajabilidad o Docilidad:.....	13
1.8.3	Homogeneidad:.....	14
1.8.4	Uniformidad:.....	14
1.8.5	Tiempo abierto:.....	15
1.8.6	Fraguado:.....	15
1.9	Propiedades mecánicas del hormigón .....	15
1.9.1	Resistencia a la compresión .....	15
1.9.2	Módulo de elasticidad .....	16
1.9.3	Ductilidad.....	17
1.9.4	Resistencia a la tracción .....	18
1.9.5	Resistencia al corte.....	18
1.9.6	Flujo plástico.....	18
1.10	Temperatura en el curado del hormigón.....	19
<b>CAPÍTULO 2 : MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE</b>		
<b>HORMIGÓN.....</b>		<b>21</b>
2.1	Agua .....	21
2.2	Áridos .....	21
2.2.1	Granulometría de los áridos para hormigones .....	22
2.2.2	Procedimiento del ensayo granulométrico para el árido grueso .....	23
2.2.3	Procedimiento del ensayo granulométrico para el árido fino.....	25
2.2.4	Densidades y absorción de los áridos finos y gruesos .....	26
2.3	Cemento.....	26

2.3.1	Determinación de la densidad del cemento .....	27
2.4	Aditivo.....	27
CAPÍTULO 3 : DISEÑO DE MEZCLA ACI 221.1 Y COMPACTACIÓN.....		28
3.1	Datos preliminares de los materiales.....	28
3.1.1	Análisis Granulométrico del Árido Grueso.....	28
3.1.2	Análisis Granulométrico del Árido Fino.....	29
3.1.3	Densidades y absorción de los áridos gruesos y finos .....	31
3.1.4	Densidad del cemento .....	33
3.2	Dosificación por el método del ACI.....	34
3.2.1	Selección del asentamiento .....	34
3.2.2	Tamaño máximo del agregado .....	34
3.2.3	Estimación de contenido de agua y aire .....	35
3.2.4	Determinación de la resistencia de diseño .....	36
3.2.5	Relación agua cemento .....	37
3.2.6	Contenido de cemento.....	37
3.2.7	Contenido de agregado grueso .....	38
3.2.8	Estimación de contenido de agregado fino .....	38
3.2.9	Ajuste por humedad de los agregados.....	39
CAPÍTULO 4 : CONFECCIÓN DE LOS HORMIGONES CON CEMENTO TIPO HE .....		40
4.1	Fabricación de las probetas de hormigón .....	40
4.2	Curado a temperatura .....	42
4.3	Resultados de pruebas de resistencia a compresión de las probetas de hormigón curadas a temperatura.....	48
4.4	Conclusiones y recomendaciones.....	56
4.4.1	Conclusiones .....	56
4.4.2	Recomendaciones.....	57
ANEXOS.....		60
Anexo 1: .....		60
Anexo 2: .....		61

Tabla 1.1	Abertura de los tamices normados por la ASTM, utilizados en Ecuador .....	8
Tabla 3.1	Tabla granulométrica del Árido Grueso.....	28
Tabla 3.2	Tabla granulométrica del árido fino.....	29
Tabla 3.3	Tabla de densidades y absorciones del árido grueso.....	31
Tabla 3.4	Tabla de densidades y absorción del árido fino .....	32
Tabla 3.5	Tabla de densidad y gravedad específica del cemento .....	33
Tabla 3.6	Tamaños máximos de los agregados según el tipo de construcción .....	35
Tabla 3.7	Tabla para determinar la estimación de contenido de aire .....	36
Tabla 3.8	Resistencia de diseño requerida .....	36
Tabla 3.9	Cuadro relación agua cemento.....	37
Tabla 3.10	Volumen de concreto para diferentes módulos de finura .....	38
Tabla 3.11	Peso seco y volumen absoluto de los materiales por metro cúbico del hormigón .....	39
Tabla 3.12	Tabla de dosificación por peso.....	39
Tabla 4.1	Compactación de acuerdo de los procedimientos .....	40
Tabla 4.2	Requisitos para determinar el método de compactación.....	41
Tabla 4.3	Número de capas y golpes para la compactación según el tipo de espécimen y tamaño.....	41
Tabla 4.4	Resultados de pruebas de resistencia a la compresión con curado a temperatura de 30°C.....	48
Tabla 4.5	Resultados de pruebas de resistencia a la compresión con curado a temperatura de 35°C.....	49
Tabla 4.6	Resultados de pruebas de resistencia a la compresión con curado a temperatura de 40°C.....	49
Tabla 4.7	Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura de 30°C .....	50
Tabla 4.8	Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura Ambiente.....	50
Tabla 4.9	Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura de 35°C .....	52
Tabla 4.10	Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura Ambiente.....	52
Tabla 4.11	Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura de 40°C .....	53
Tabla 4.12	Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura de 40°C .....	53

Figura 1.1. Curva esfuerzo deformación de hormigones de distintas resistencias .....	16
Figura 1.2. Deformaciones unitarias máximas en rango elástico e inelástico .....	17
Figura 2.1. Tamices en los que se retienen los áridos gruesos.....	22
Figura 2.2. Tamices en los que se retienen los áridos finos .....	23
Figura 2.3. Tamices adecuados según la Norma.....	24
Figura 2.4. Tamices adecuados para los áridos finos según la Norma .....	25
Figura 3.1: Curva granulométrica del árido grueso .....	29
Figura 3.2. Curva granulométrica del árido fino.....	30
Figura 4.1. Método de aplicación de temperatura a los especímenes .....	42
Figura 4.2. Instalación del equipo para el método de curado.....	42
Figura 4.3. Contactor Térmico .....	43
Figura 4.4. Controlador de temperatura .....	43
Figura 4.5. Bomba de recirculación .....	44
Figura 4.6. Bomba de recirculación conectada al tanque hidroneumático .....	44
Figura 4.7. Aliviador de aire .....	45
Figura 4.8. Ciclo de curado a temperatura de 30°C .....	46
Figura 4.9. Ciclo de curado a temperatura de 35°C .....	47
Figura 4.10. Ciclo de curado a temperatura de 40°C .....	47
Figura 4.11. Comparación de las resistencias de diseño en porcentaje curados a temperatura de 30°C y ambiente .....	51
Figura 4.12. Comparación de las resistencias de diseño en porcentaje curados a temperatura de 35°C y ambiente .....	52
Figura 4.13. Comparación de las resistencias de diseño en porcentaje curados a temperatura de 40°C y ambiente .....	54
Figura 4.14. Gráfica comparativa de los distintos tiempos y temperatura de curado .....	55

## INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en el ámbito de la construcción, durante las épocas de la Prehistoria el hombre adoptó diferentes materiales como piedras y mezclas de arcilla apisonada con canto rodado utilizado como conglomerante, obteniendo así una mezcla homogénea que impida la rotura de la misma y pueda repartir las cargas de forma más distribuida. Con la evolución del hombre durante la Edad de Piedra los habitantes utilizaban una mezcla considerada como hormigón rudimentario, en el que se unía tierra caliza, arena, grava y agua. Muchas civilizaciones utilizaron distintos aglomerantes en sus técnicas de construcción, como el yeso cocido usado por los egipcios, tierra volcánica por los griegos y la cal por los romanos (Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica, 2007).

Los hormigones han sido elementos básicos en multitud de estructuras desde los albores del Imperio Romano hasta nuestros días (Nistal Cordero, Retana Maqueda, & Ruiz Abrio, 2012). En las últimas décadas, numerosas fallas de estructuras de concreto durante la construcción y las presiones económicas para acelerar los cronogramas de construcción han enfatizado la necesidad de predecir la ganancia de resistencia del concreto en etapas tempranas. Uno de los factores clave en la ejecución de estructuras de hormigón es el curado, este es de vital importancia ya que consiste en su fraguado y endurecimiento a lo largo del tiempo, con el fin de obtener una resistencia a la compresión óptima (Laica, 2013).

Muchas estructuras romanas como el Coliseo Romano, acueductos de Segovia, el Panteón siguen perturbando hasta la actualidad, destacándose por su extrema resistencia y eso debe a los materiales que utilizaban los romanos para fabricar sus estructuras, la combinación de estas materias primas y la exposición del agua, le permitía al hormigón romano resistir más. Según Lafarge Holcim (2017) la extrema resistencia de estas estructuras se debe a la cristalización del cemento de los materiales presentes en la mezcla de ceniza y roca volcánica que al estar en contacto con el agua del mar producía una reacción química que lo endurecía y reforzaba al hormigón.

## ANTECEDENTES

Como sabemos en el hormigón, uno de los factores clave es el curado y este tiene por objeto brindar al hormigón las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para desarrollar sus propiedades potenciales. Ahora tenemos un problema y es las dificultades de realizar dicho curado en condiciones reales de obra, principalmente si no se toman en cuenta las condiciones ambientales del lugar. (Manobanda Laica, 2013)

Aquí en el Ecuador tenemos cuatro regiones geográficas: Costa, Sierra, Oriente y la región insular y cada una de estas regiones tienen diferentes climas y se deben aplicar diferentes técnicas de curado. (Manobanda Laica, 2013)

Las bajas temperaturas en la Sierra provocan heladas y el hormigón se suele someter a ciclos de hielo/deshielo, afectando al curado del mismo (Manobanda Laica, 2013). La hipótesis principal para explicar los daños de congelación del hormigón se basan principalmente en que el agua al helarse experimenta un incremento de volumen de un 9% y al no existir espacio libre para absorber la expansión, genera unas tensiones de tracción en las paredes de la red capilar que puede llegar a fisurar y romper el material. El hormigón con un grado de saturación superior al 91,7% sufriría el efecto de la heleada, aunque también puede verse afectado el hormigón con un grado de saturación por encima del 80%. (Al-Assadi, 2009)

Ahora tenemos las altas temperaturas en la costa y oriente, que inducen condiciones que favorecen el secado prematuro. En estas condiciones de exposición inicial, la importancia del curado es crítica y se deben extremar los esfuerzos para asegurar procedimientos eficientes de curado. (Manobanda Laica, 2013)

Existen muchos estudios aplicados al hormigón, como la teoría para la dosificación, el estudio de los agregados; para obtener un hormigón que cumpla con el diseño estructural y los reglamentos. Sin embargo, no se ha tomado en cuenta cómo un hormigón no curado o un curado inadecuado alcanza una resistencia inferior al 50% de la que se alcanza con un hormigón curado técnicamente (Manobanda Laica, 2013).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

- Realizar un estudio sobre la influencia del cambio de temperatura en el curado sobre las resistencias tempranas a la compresión del hormigón.

### **Objetivos específicos:**

- Determinar la propiedades y características que mejoran el curado del hormigón.
- Definir el tiempo y temperatura de curado para las muestras del estudio.
- Realizar muestras de hormigón en cilindros estándares con una misma dosificación y someterlos al tiempo y temperatura de curado establecidos.
- Realizar pruebas de resistencia a compresión, en el tiempo especificado, en el laboratorio para determinar el comportamiento de los hormigones y la influencia de la temperatura en el curado del hormigón.

## **METODOLOGÍA**

Para este trabajo de titulación, se iniciará con el desarrollo conceptual del mismo para determinar los parámetros con los que se realizarán las muestras físicas previas a la valoración de la resistencia a la compresión.

Para este proceso de curado a temperatura se utilizará un tanque de agua caliente el cual estará regulado por una termocupla para el monitoreo de la temperatura. Para el tiempo de curado se establece subir gradualmente la temperatura de 5 °C-15 °C/ hora durante una hora y media hasta llegar a la temperatura máxima y se mantenga constante hasta finalizar el tiempo de curado. Los ensayos serán sometidos a pruebas de compresión del hormigón a las 16, 20 y 24 y se curarán a temperaturas de 30 °C, 35° C, 40 °C y ambiente, las cuales son establecidas para acelerar la hidratación del cemento.

Una vez establecido los parámetros de tiempo, temperatura y velocidad de variación de temperatura para el curado del hormigón se procederán a realizar 36 cilindros divididos en 3 ensayos. En cada ensayo se realizarán 12 cilindros de los cuales 6 serán curados a temperatura ambiente en las horas establecidas y los otros 6 serán curados en las mismas horas, pero con las diferentes temperaturas que se establecieron anteriormente. Para los especímenes se utilizará el cilindro estándar de 10 cm de diámetro según la norma ASTM. La dosificación para las muestras de hormigón serán las mismas para todos los ensayos, utilizando cemento tipo HE que generalmente es utilizado para obtener una mayor resistencia a la compresión a edades tempranas. Posteriormente se realizarán las pruebas de resistencia estándar a la compresión por la norma ASTM C39, determinando el comportamiento del hormigón curado a diferentes temperaturas.

## **CAPÍTULO 1 : CONCEPTOS GENERALES**

### **1.1 Hormigón**

Según la Tecnología del concreto y el morteo (2001) define al hormigón como un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y comúnmente se añaden aditivos, que al endurecerse forma una piedra artificial, la cual después de cierto tiempo puede soportar grandes esfuerzos de compresión. También Marcelo Romo Proño (2008) menciona que las propiedades del hormigón dependen mucho de la calidad y las proporciones en la mezcla y de las condiciones de humedad y temperatura, mientras se siguen los procesos de fabricación y de fraguado. Por otro lado, señala que el hormigón es un material estructural de gran importancia debido a su facilidad de adaptarse a los moldes por su consistencia plástica en estado fresco.

### **1.2 Componentes del hormigón**

#### **1.2.1 Cemento**

Son materiales aglomerantes que tienen las propiedades de adherencia y cohesión requeridas para unir fragmentos minerales entre sí, formando una masa sólida continua, de resistencia y durabilidad adecuadas. El cemento Portland es un polvo muy fino, de color grisáceo, que se compone principalmente de silicatos de calcio y de aluminio, que provienen de la combinación de calizas, arcillas o pizarras, y yeso, mediante procesos especiales. El color parecido a las piedras de la región de Portland, en Inglaterra, dio origen a su nombre. (Romo, 2008).

Existen diferentes tipos de Cemento Portland, citando a Marcelo Romo (2008).

- **Tipo I - Cemento Portland Ordinario:** Utilizado en hormigones normales, sin estar expuestos a sulfatos en el medio en el que se encuentren. Sin embargo, existe el cemento portland tipo IA que es similar al tipo I, su diferencia es que produce la introducción de burbujas de aire, de diámetro controlado en el hormigón. En esta categoría también se encuentra el cemento portland tipo IP, que contiene un porcentaje de puzolana entre el 15% y 40%, lo que a temprana edad su resistencia aumenta.
- **Tipo II:** Este cemento genera menor calor de fraguado, a su vez presenta una resistencia moderada al sulfato, usado en obras marinas y estructuras enterradas. De igual manera, el Cemento Portland tipo IIA, produce la introducción de burbujas de aire.
- **Tipo III:** Cementos de fraguado rápido, utilizado en obras que están en contacto con el agua, por lo que están propensas las estructuras a inestabilizarse. Este desarrolla altas resistencias iniciales. El Cemento Portland tipo IIIA, produce la introducción de burbujas de aire.
- **Tipo IV:** Cementos de fraguado lento, desarrolla poco calor de hidratación, se utiliza en obras con grandes volúmenes de hormigón como presas, requiriendo obtener una resistencia mayor a los 56 u 84 días.
- **Tipo V:** Cementos resistentes a los sulfatos, lo evita la desintegración progresiva del hormigón y la destrucción de la estructura interna de los materiales que lo componen.

### 1.3 Áridos

Son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros. En una mezcla típica de concreto los agregados constituyen alrededor del 75% en volumen. Los agregados deben tener buena resistencia, durabilidad y que se adhieran a la pasta de cemento endurecida (Abanto, 2009).

#### Clasificación de los agregados:

**1.3.1 Agregados finos:** Se consideran agregados finos a la arena o piedra natural finamente triturada de dimensiones reducidas, pasan el tamiz 9.5 mm (3/8 pulgadas) y que cumplen con los límites establecidos en la norma según la NTE INEN 696:2011 (Abanto, 2009).

**1.3.2 Agregados gruesos:** Se consideran agregados gruesos a la piedra o grava proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas. Es el material retenido en el tamiz N°4 y que cumple con los límites establecidos en la norma según la NTE INEN (Abanto, 2009).

#### Granulometría

Nos referimos a granulometría de los agregados como la distribución de tamaño de las partículas, refiriéndonos al tamaño máximo permisible y tamaño mínimo permisible. La distribución de estas partículas se determina por medio de ensayos de cribado empleando mallas, donde los alambres que integran las mallas se entretejen formando espacios cuadrados con diversidad aberturas. Las mallas se usan dependiendo de su abertura y nomenclatura de las normas que se adopten. (Gómez, 2007). Entre algunas normas y mallas de uso a nivel mundial se encuentran las americanas (ASTM) las cuales las usamos en Ecuador. Aunque en la norma existan tamices con mayor abertura, en Cuenca se utiliza 3/4” como tamaño máximo del agregado en toda planta de premezclado:

Tabla 1.1

*Abertura de los tamices normados por la ASTM, utilizados en Ecuador*

<b>N° Tamiz</b>	<b>Abertura de la malla en mm</b>
3"	76.2
1 1/2"	38.1
1"	25.4
3/4"	19.1
1/2"	12.7
3/8"	9.52
N°4	4.76
N°8	2.38
N°16	1.19
N°30	0.59
N°50	0.297
N°100	0.149
N°200	0.075

*Fuente:* Elaboración propia, adaptado de: Gómez Domínguez J. Materiales de construcción (2007)

- Los tamices utilizados para los agregados finos son N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100.
- Los tamices utilizados para los agregados gruesos son N° 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", # 4. En el tamizado se debe realizar con una cantidad de material seco, previamente cuarteado como base para el cálculo de todos los porcentajes. Para el manejo de los tamices se pueden realizar a mano o aparatos mecánicos. (NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, 2010)

## **1.4 Propiedades físicas de los áridos**

### **1.4.1 Absorción**

Es el incremento de la masa del árido a causa de la penetración de agua en los poros de las partículas durante un determinado período de tiempo, sin considerar el agua que se adhiere a la superficie externa de las partículas, lo vemos reflejado como un porcentaje de la masa seca. (Norma, 2010)

### **1.4.2 Seco al horno (SH):**

Es la condición en la cual los áridos han sido secados en un horno calentándolos a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  en el tiempo que sea necesario hasta tener una masa constante. (Norma, 2010)

### **1.4.3 Saturado superficialmente seco (SSS):**

Situación en la cual los poros permeables de las partículas del árido se llenan con agua al sumergirlos por un determinado tiempo, pero sin agua libre en la superficie de las partículas. (Norma, 2010)

### **1.4.4 Densidad:**

Masa por unidad de volumen de un material, la cual se expresa en kilogramos por metro cúbico o gramo por centímetro cúbico. (Norma, 2010)

### **1.4.5 Densidad (SH):**

La masa de las partículas de agregado secadas al horno por unidad de volumen de partículas de agregado, se incluye el volumen de poro permeables e impermeables en las partículas, pero no consideramos el vacío entre partículas. (Norma, 2010)

### **1.4.6 Densidad (SSS):**

La masa de agregado saturado superficialmente seco por unidad de volumen de las partículas de agregado, incluyendo el volumen de vacíos impermeables y poros llenos de agua dentro de las partículas, en cambio aquí no se incluyen los poros entre las partículas. (Norma, 2010)

**1.4.7 Densidad aparente:**

La masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas del árido. (Norma, 2010)

$$\text{Densidad aparente} = \frac{997.5 \cdot A}{B + A - C} \quad \text{Ecuación 1}$$

**1.4.8 Densidad relativa (gravedad específica):**

Es la relación de la densidad de un material a la densidad del agua a una temperatura específica (valores adimensionales). (Norma, 2010)

**1.4.9 Densidad relativa (gravedad específica) (SH):**

Es la relación de la densidad (SH) del agregado a la densidad del agua a una temperatura específica. (Norma, 2010)

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SH)} = \frac{A}{B - C} \quad \text{Ecuación 2}$$

**1.4.10 Densidad relativa (gravedad específica) (SSS):**

Es la relación de la densidad (SSS) del agregado a la densidad del agua a una temperatura específica. (Norma, 2010)

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)} = \frac{D}{B + D - C} \quad \text{Ecuación 3}$$

**1.4.11 Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente):**

Es la relación entre la densidad aparente del árido analizado y la densidad del agua destilada a una temperatura específica.

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{B + A - C} \quad \text{Ecuación 4}$$

**1.5 Agua**

Componente del concreto en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le permiten fraguar y endurecerse para formar un sólido. El agua de mezclado se define por la cantidad por volumen unitario del concreto que se requiere el cemento para hidratarse y producir una pasta con una fluidez, que permita una lubricación

adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado solido. (Sánchez, 1994)

### 1.6 Aire

En el proceso de mezclado del hormigón, se queda incluido aire dentro de la masa , el cual es posteriormente liberado por el proceso de compactación, sin embargo siempre queda un aire residual dentro de la masa endurecida, por otra parte se puede incluir burbujas de aire por medio de aditivos, con fines específicos. (Sánchez, 1994)

### 1.7 Aditivos

Es un producto químico, que en proporciones adecuadas, cambian de una forma que mejoran las características del hormigón fresco, del hormigón endurecido y del proceso de fraguado. (Romo, 2008)

Existen distintos aditivos para el concreto; a decir de Romo M. (2008)

**1.7.1 Aditivos plastificantes:** Permite que mejore la trabajabilidad del hormigón fresco.

**1.7.2 Aditivos superplastificantes:** Conocidos como reductores de agua a alto rango, este convierte un hormigón normal en un hormigón fluido, que no requiere de vibración para llenar los espacios del molde. Reducen la relación agua-cemento hasta los valores cercanos a 0.30, consiguiendo hormigones de mediana resistencia entre  $350 \text{ kg/cm}^2$  y  $420 \text{ kg/cm}^2$  y hormigones de alta resistencia mayores de  $420 \text{ kg/cm}^2$ .

**1.7.3 Aditivos acelerantes:** los procesos de endurecimiento y fraguado del hormigón se producen rapidamente en la fase inicial por este aditivo, para poderlo desencofrar en un menor tiempo.

**1.7.4 Aditivos retardantes:** Retrasan el endurecimiento inicial del hormigón, manteniendo su consistencia plástica. Es utilizado en climas cálidos para evitar el fraguado anticipado por evaporación del agua.

**1.7.5 Aditivos introductores de aire:** Producen burbujas de aire dentro del hormigón, se utilizan en estructuras que están sometidas a procesos de congelamiento y descongelamiento periódico, es decir, cuando las moléculas de agua que no llegan a reaccionar con el cemento se congelan, lo que trata de rajarse al hormigón. Los introductores de aire tienen como efecto disminuir la resistencia del hormigón aproximadamente un 5% por cada 1% de burbujas de aire introducidas.

**1.7.6 Aditivos impermeabilizantes:** se utiliza para estructuras que contienen líquidos ya que favorecen el sellado de las porosidades del hormigón.

**1.7.7 Aditivos espumantes:** disminuyen la densidad de los hormigones, convirtiéndolo en un material sumamente liviano similar a la piedra pómez (pumicita).

## **1.8 Propiedades del concreto fresco**

Cuando hablamos de hormigón fresco o plástico nos referimos al tiempo que transcurre cuando termina el proceso de amasado, ya sea manual o mecánico hasta cuando inicia el fraguado para finalmente endurecerse. A continuación, se presentan ciertas propiedades y características que debe tener una mezcla de hormigón en estado fresco, en este estado estas características son manipulables y dependerán de las condiciones de diseño que se pretende alcanzar. (Cando Lara, 2016)

Las propiedades fundamentales de este estado del hormigón son las siguientes:

**1.8.1 Consistencia:** Estando en estado fresco, consistencia es la capacidad que tiene el hormigón de experimentar deformaciones y adaptarse a una forma específica, puede ser en un molde o encofrado. Los puntos que rigen este comportamiento están dados por: la cantidad de agua, la calidad de cemento,

tamaño, forma y granulometría de los áridos y uso de aditivos. (Cando Lara, 2016)

El método más utilizado para determinar la consistencia de una muestra de hormigón es cuantificando el asentamiento mediante el empleo del cono de Abrams. Este procedimiento de ensayo está estandarizado bajo la NTE INEN 1578 o su equivalente ASTM C 143, la misma que establece el equipo y el procedimiento que se debe emplear. (Manobanda Laica, 2013)

**1.8.2 Trabajabilidad o Docilidad:** Es la función que presenta una mezcla de hormigón en estado fresco de ser mezclado, manipulado, transportado y vaciado a su posición final. (Cando Lara, 2016)

La trabajabilidad depende, de los siguientes factores; a decir de Cando Lara (2016)

- Si la cantidad de agua de amasado es mayor, su trabajabilidad será mayor.
- Hablando de la granulometría de los áridos, los hormigones son más trabajables si su contenido en arena es mayor. Pero, por otra parte, si se tiene mayor cantidad de árido fino, se necesita más agua de y, por tanto, tendremos menor resistencia.
- Si tenemos áridos redondeados, la trabajabilidad es mayor que con áridos irregulares provenientes de la trituración de las rocas.
- La trabajabilidad aumenta con el contenido de cemento y con la finura de este.
- La trabajabilidad aumenta con el empleo de un plastificante.

Continuando con la trabajabilidad, esta depende de la forma y tamaño del molde y, de los medios de compactación que tengamos y un hormigón de consistencia plástica puede ser perfecta para su utilización como hormigón en masa en un pavimento, pero no puede ser totalmente perfecta para usarlo en una viga en sección en T armada; en el primer caso el hormigón tendrá una buena trabajabilidad y en el segundo una mala trabajabilidad. (Cando Lara, 2016)

**1.8.3 Homogeneidad:** El hormigón está constituido por sólidos muy diferentes y de un líquido. Es un material heterogéneo y decir que debe ser homogéneo indica que debe ser uniformemente heterogéneo. Nos referimos que en cualquier parte de su masa los componentes del hormigón deben estar perfectamente mezclados y en la proporción prevista en el diseño de la mezcla. (Cando Lara, 2016)

La homogeneidad y la mezcla adecuada de los componentes del hormigón se puede formar con un buen amasado, pero durante el transporte, vertido y compactado la mezcla puede afectarse, dando lugar a que los elementos constitutivos del hormigón tiendan a separarse entre sí, por lo tanto, la mezcla tiende a perderse y a decantarse respecto a su tamaño y densidad. (Cando Lara, 2016)

**1.8.4 Uniformidad:** En este punto puede variar por los fenómenos de segregación y exudación. En este punto se debe mantener uniformidad durante: el mezclado, colocación y compactación del hormigón fresco y así lograr un hormigón con propiedades físicas y mecánicas homogéneas en toda su masa. (Cando Lara, 2016)

- **Segregación:** Esta propiedad es cuando las distribuciones de tamaños de las partículas dejan de ser uniformes y existe segregación cuando existe separación de los elementos constituyentes de la mezcla de hormigón. Se produce principalmente por las diferencias en tamaño y en densidad de las partículas, pero si tenemos una buena granulometría su magnitud puede disminuirse. La segregación se presenta debido a las fuerzas internas causadas por el peso propio de los áridos que logra separarlos de la pasta y las fuerzas externas que actúan sobre el hormigón fresco que superan las fuerzas internas de cohesión, esto ocurre durante el transporte, colocación y vibrado. Como consecuencia de la segregación se tiene una gran concentración de agregado grueso en la parte inferior y en

la parte superior concentración de agregado fino, originando puntos de baja resistencia. (Cando Lara, 2016)

- **Exudación:** Es una forma especial de segregación, en la cual parte del agua de amasado asciende hacia la superficie del hormigón recién colocado, esto se debe a que el agua es el elemento de menor densidad de la mezcla y a la poca capacidad de la estructura granular para retenerla. Como consecuencias de la segregación se tiene en parte superior una relación agua – cemento mayor, es porosa y débil al desgaste. (Cando Lara, 2016)

**1.8.5 Tiempo abierto:** Es el período de tiempo que transcurre entre el amasado del hormigón y el principio del fraguado. Es una propiedad muy importante ya que aquí se puede manipular el hormigón sin mermar sus características. (Manobanda Laica, 2013)

**1.8.6 Fraguado:** Cambio de consistencia desde un estado fluido a rígido, es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento y el agua (Cando Lara, 2016). En el proceso de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde su plasticidad, entonces se vuelve muy difícil de manejar, por lo que ese estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. Y a medida que se produce dicho endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en donde la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable, este estado se le conoce como fraguado final. (Cañas, 2007)

## 1.9 Propiedades mecánicas del hormigón

### 1.9.1 Resistencia a la compresión

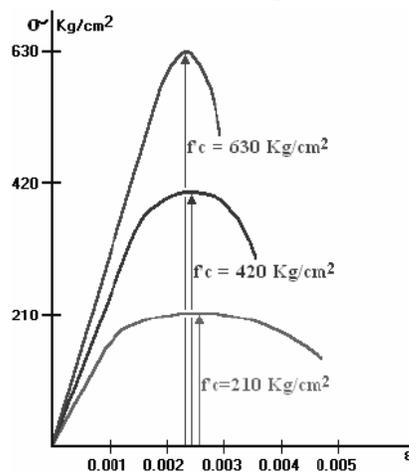
Esta se determina en muestras cilíndricas estandarizadas con un diámetro y altura específica, llevadas hasta la rotura mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, para lo cual se toman muestras y se realizan especímenes para fallar, las cuales les permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. (Sánchez, 1994)

### 1.9.2 Módulo de elasticidad

El Módulo de elasticidad estático del concreto se determina a través de la prueba estándar de compresión definida en la "Norma ASTM C469", preparando especímenes cilíndricos de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, los cuales son sometidos a una carga axial incrementada gradualmente hasta que el cilindro del concreto falla. Las deformaciones transversales y longitudinales son medidas continuamente durante la aplicación de la carga incremental (Serrano & Pérez, 2010).

En la Figura 1.1 se pueden observar la curva esfuerzo deformación de hormigones de distintas resistencias

Figura 1.1. Curva esfuerzo deformación de hormigones de distintas resistencias



Fuente: Romo (2008)

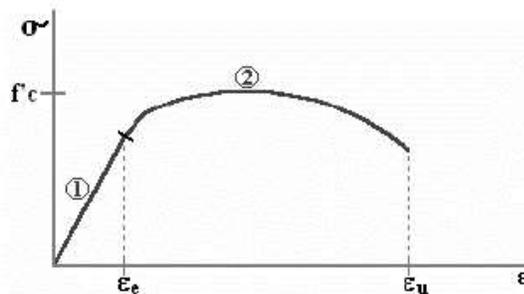
Los hormigones presentan un primer rango que es el comportamiento lineal que recibe la denominación de Módulo de elasticidad del material o Módulo de Young simbolizado por “ $E_c$ ”. De igual manera existe un segundo rango de comportamiento no lineal e inelástico que tiene una geometría curva en la gráfica. (Romo, 2008)

### 1.9.3 Ductilidad

La ductilidad es la capacidad que tiene un elemento estructural para sufrir deformaciones plásticas sin perder su resistencia, es decir no se deforma linealmente a pesar de los incrementos de carga sean mínimos, nulos e incluso si existe una disminución de la carga, para la determinación de la misma es el cociente entre la deformación de rotura  $\epsilon_u$  y la deformación máxima con comportamiento lineal elástico  $\epsilon_e$  (Romo, 2008).

En la Figura 1.2 se muestra la gráfica de las deformaciones unitarias máximas en rango elástico e inelástico.

Figura 1.2. Deformaciones unitarias máximas en rango elástico e inelástico



Fuente: Romo (2008)

#### **1.9.4 Resistencia a la tracción**

Un elemento de hormigón en masa presenta una muy buena resistencia a compresión, pero muy baja a tracción, de tal forma que estos elementos estructurales serán adecuados únicamente para soportar solicitaciones de orden del 10% al 15% de su capacidad a la compresión. Con objeto de mejorar la resistencia a la tracción se introducen en el hormigón barras de acero para que así absorban los esfuerzos de tracción (Moreno, 2019). El ensayo tradicional para medir la resistencia de la misma se determina por medio de la Prueba Directa de Tracción, que consiste en una muestra con sección transversal rectangular lo que sometido a la prueba ejercen fuerzas de tracción que romperán a la muestra en el sector central más débil (Romo, 2008).

#### **1.9.5 Resistencia al corte**

Debido a que las fuerzas cortantes se transforman en tracciones diagonales, la resistencia al corte del hormigón “vc” tiene órdenes de magnitud y comportamiento similares a la resistencia a la tracción. El ensayo utilizado se conoce como la Prueba de Corte Directo, en el que se evita al máximo la introducción de esfuerzos de flexión.

#### **1.9.6 Flujo plástico**

El fenómeno del incremento gradual de la deformación con el paso del tiempo bajo un esfuerzo sostenido se conoce como flujo plástico. Cuando el flujo plástico en el concreto es restringido, se manifiesta como un decremento progresivo del esfuerzo con el paso del tiempo. La relajación del esfuerzo asociada con el flujo tiene implicaciones importantes en el comportamiento tanto en concretos simples como en concretos presforzados (Metha & Monteiro, 1985). La deformación que tiene el hormigón a largo plazo depende de la resistencia del mismo y es comparativamente mayor cuando se

utilizan hormigones de menor resistencia. Este fenómeno del flujo plástico se produce por la migración de partículas de agua que no pudieron combinarse con el cemento, y debido a las altas presiones se mueven por las microporosidades del hormigón (Romo, 2008).

### **1.10 Temperatura en el curado del hormigón**

El American Concrete Institute (2016) define al curado del hormigón como un proceso tomado para mantener las condiciones de humedad y temperatura de una mezcla de cemento recién colocado para permitir la hidratación de un cemento hidráulico.

El curado del hormigón afecta directamente al grado de hidratación del cemento, y, en consecuencia, la ganancia continua de resistencia, una vez que se detiene el curado, también se detiene la ganancia de resistencia del hormigón. Las condiciones de humedad adecuadas son fundamentales porque la hidratación del cemento prácticamente cesa cuando la humedad relativa dentro de los capilares cae por debajo del 80 %. Con agua insuficiente, la hidratación no procederá y el hormigón resultante puede no poseer la resistencia e impermeabilidad deseables (Pawar & Shrinkant, 2020).

Existen parámetros establecidos para desarrollar las estructuras de hormigón respecto a las pruebas especificadas de control y calidad y la elaboración de los especímenes, curarlos y someterlos a pruebas de resistencia a los 28 días. Para el proceso de curado existen otros métodos que imponen un curado acelerado consiguiendo acelerar la velocidad de hidratación del cemento que así endurece más rápidamente y alcanza una resistencia suficiente en un intervalo de tiempo más corto. (Krishna, s.f.)

El curado del hormigón es un factor clave en el cual, para tener resistencia y durabilidad en el hormigón. Unos métodos de curado que aceleran el desarrollo de la resistencia del hormigón son el curado a vapor y el curado con agua caliente, en el curado a vapor la temperatura debe limitarse a un máximo de 75 °C, debido a que la humedad se reduce el hormigón puede secarse más pronto. Las condiciones de humedad adecuadas

son esenciales para una buena calidad del hormigón, en el curado se permite la hidratación del mismo para así ganar resistencia, cuando el curado se detiene también se detiene la ganancia de la resistencia del mismo. (Pawar & Shrinkant, 2020)

Otro factor crucial es la temperatura a la que está expuesto el concreto durante las primeras horas de ser confeccionado, ya que este puede afectar a su resistencia a compresión. Según la investigación de Gómez & Vidal (2006), en su tesis titulada “Influencia en la Resistencia a Compresión de Hormigones por Efecto de la Temperatura Ambiente” presenta un estudio de hormigonado en tiempo frío con temperaturas menores a 5 °C, tiempo caluroso, temperaturas mayores a 35° C y normales entre los rangos anteriores. Estableciendo que una de las variables que afectan en la resistencia a compresión del hormigón es la temperatura a la que están expuestos durante la confección del mismo. Indicando que los hormigones que están sometidos a temperaturas cercanas a 0° C o sobre 35° C pueden sufrir una disminución en su resistencia a compresión y durabilidad a los 28 días. En este estudio se analizaron muestras correspondientes a hormigones grado H20, H25 y H30 con un 5% y 10% de defectuoso, ensayadas a compresión a 7 y 28 días. Asimismo, se consideraron temperaturas mayores a 5° C y menores a 35° C, de manera de no incluir las temperaturas correspondientes a hormigonados especiales (tiempo frío y caluroso). Concluyéndose que para muestras mantenidas en obra por un período máximo de 2 días y luego mantenidas en condiciones de laboratorio, se tiene que la evolución de la resistencia es mayor en tiempo caluroso, sin embargo en este período se tienen una disminución en la resistencia con respecto al tiempo frío. (Gómez & Vidal, 2006)

## **CAPÍTULO 2 : MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN**

En la dosificación del hormigón establecemos la base de cuáles serán las proporciones apropiadas de los componentes de la mezcla de hormigón con el objetivo de conseguir la durabilidad y la resistencia requerida. Para el diseño de mezcla se debe determinar las cantidades respectivas de los elementos como el agua, los áridos, el cemento y también aditivos que son empleados para modificar las propiedades del concreto.

Todos estos elementos unidos formarán una pasta que al endurecer mantendrá unidos a los agregados actuando como aglomerante y así alcanzar los valores requeridos de calidad, resistencia y consistencia.

### **2.1 Agua**

El agua es un ingrediente clave de las pastas, morteros y concretos, pues las fases en el cemento portland tienen que reaccionar químicamente con el agua para desarrollar resistencia. La cantidad de agua adicionada a la mezcla también controla la durabilidad. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004). En nuestro diseño usaremos el agua de la Ciudad de Cuenca que cumple con las especificaciones dadas por la norma INEN para el uso de mezclas de hormigones, teniendo presente la cantidad correcta de colocación para que el hormigón sea más trabajable, ya que si se agrega demasiada agua la durabilidad y resistencia de la mezcla disminuirá.

### **2.2 Áridos**

Los áridos provienen de Vipesa Cia. Ltda, la cual es una empresa dedicada al procesamiento y comercialización de materiales áridos para su uso en la construcción dentro del Azuay y Azogues. Los áridos como materia prima son extraídos por la empresa Áridos San Juan, el cual explota piedra, arena y grava del río Paute, y es transportada hasta la mina Vipesa. Los áridos que se usarán en este trabajo de titulación son la grava como árido grueso y la arena como árido fino de la mina mencionada.

### 2.2.1 Granulometría de los áridos para hormigones

En este primer ensayo se determinará el porcentaje de material menor de  $75\ \mu\text{m}$  que pase por el Tamiz N°200. Para ello el árido grueso será la grava formada por partículas mayores que se retendrán en el tamiz N°4 y el árido fino será la arena formada por partículas menores de  $4.76\ \text{mm}$ , es decir que pasar el tamiz N°4.

Se determinará la granulometría del agregado y pasará una muestra del mismo, lavada y secada hasta alcanzar una masa constante, a través de los tamices que podemos ver en la Figura 2.1 y Figura 2.2 , para posteriormente pesar la cantidad retenida en cada uno de los tamices.

Figura 2.1. Tamices en los que se retienen los áridos gruesos



*Fuente:* Elaboración propia

Figura 2.2. Tamices en los que se retienen los áridos finos



*Fuente:* Elaboración propia

### 2.2.2 Procedimiento del ensayo granulométrico para el árido grueso

El objetivo de este ensayo es determinar la distribución granulométrica de las partículas del árido fino y árido grueso cuyo propósito es utilizarlos como áridos para la elaboración de los hormigones. Se observará la distribución por medio de los tamices y la cantidad de material que pase por el tamiz N°4 después del lavado del agregado grueso.

- 1) Como sabemos el tamaño máximo del árido grueso que se usa en Cuenca es de  $\frac{3}{4}$ " (19.1 mm). Entonces para este ensayo se toma una muestra del árido grueso en la que todo el material pase por el tamiz 1" de 25.4 mm de abertura.
- 2) Esta muestra se seca en un horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas hasta conseguir una masa constante, luego se toma una muestra de 3000g constituido por el árido grueso y ese es el valor de la masa seca.

- 3) Luego del secado y de la determinación de la masa, se coloca la muestra en un recipiente para lavarla con la suficiente cantidad de agua hasta cubrirla, con el objetivo de separar todas las partículas finas adheridas a las partículas gruesas, repetir este lavado hasta que el agua de lavado no esté turbia. Luego se procede a secar nuevamente la muestra.
- 4) Se toma la muestra seca y se vuelve a pesar para determinar la nueva masa y ese es el valor de la masa seca lavada. Se selecciona los tamices adecuados según la norma y el tamaño máximo que se ocupa en Cuenca colocándolos en fila de mayor a menor abertura.

Figura 2.3. Tamices adecuados según la Norma



*Fuente:* Elaboración propia

- 5) Se vierte la muestra del material seco después del lavado, a través del juego de tamices, agitándolos y moviéndolos de forma manual con el objetivo de que las partículas descendan y no se acumulen en cada tamiz. Se determina la masa retenida en cada tamiz y la masa seca total del árido luego del tamizado. Se obtendrá aquí el porcentaje retenido acumulado con relación a la masa seca original y así se obtiene la curva granulométrica en una representación semilogarítmica en la que se presenta el porcentaje que pasa vs el tamaño de la partícula en milímetros.

### 2.2.3 Procedimiento del ensayo granulométrico para el árido fino

El objetivo de ese ensayo es determinar la distribución granulométrica por medio de los tamices y la cantidad de material que pase por el tamiz N°200 después del lavado del agregado:

- 1) Para este ensayo, al igual que el árido grueso se toma una muestra del árido fino en la que todo el material pase por el tamiz 4" con una abertura de 4.76 mm.
- 2) Esta muestra se seca en un horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas hasta conseguir una masa constante, luego se toma una muestra de 1000g constituido por el árido fino y ese es el valor de la masa seca. Luego del secado y de la determinación de la masa, se coloca la muestra en un recipiente para lavarla con la suficiente cantidad de agua hasta cubrirla, con el objetivo de separar todo el material orgánico e inservible adherido a la arena.
- 3) Colocar en un recipiente toda la muestra lavada. Luego se procede a secar la muestra del árido fino lavado en un horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.
- 4) Se toma la muestra seca y se vuelve a pesar para determinar la nueva masa y ese es el valor de la masa seca lavada. Se selecciona los tamices adecuados según la norma y el tamaño máximo que se ocupa en Cuenca colocándolos en fila de mayor a menor abertura.

Figura 2.4. Tamices adecuados para los áridos finos según la Norma



*Fuente:* Elaboración propia

- 5) Se vierte la muestra del material seco después del lavado, a través del juego de tamices hasta ver el material que se retenga en el tamiz N°200. No se debemos forzar que las partículas pasen a través de las mallas.
- 6) Determinar la masa retenida en cada tamiz y la masa seca total del árido fino luego del tamizado, así determinamos el porcentaje retenido acumulado con relación a la masa seca original.

#### **2.2.4 Densidades y absorción de los áridos finos y gruesos**

El objetivo de este ensayo es determinar: la densidad, la densidad relativa y la absorción para el árido grueso que se retiene en el tamiz N°4 y para el árido fino que se pasa por el tamiz N°4. Este método de ensayo se aplica para la determinación de la densidad promedio en una muestra de árido (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del árido.

Se determinará la densidad de la porción sólida de un número grande de partículas de árido y se proporcionará un valor promedio, que representa la muestra.

### **2.3 Cemento**

En esta investigación se utilizará cemento Holcim Premium Tipo HE, el cual es un cemento hidráulico de alta resistencia inicial fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380 que equivale a la Norma ASTM 1157. El cemento Holcim Premium Tipo HE tiene como beneficio obtener altas resistencias en edades tempranas y finales. (HOLCIM, 2021)

### **2.3.1 Determinación de la densidad del cemento**

El objetivo de este ensayo es determinar la densidad del cemento hidráulico, mediante el método del frasco volumétrico de Le Chatelier.

El cemento Portland es el aglomerante más utilizado a nivel mundial en la construcción, así que en este ensayo se determina en el laboratorio, su fabricación se la puede resumir en los siguientes procesos: preparación, cocción, enfriamiento y finalmente molienda.

En la actualidad y dentro de la construcción, la gravedad específica del cemento se utiliza principalmente en la dosificación y control de hormigones y la gravedad específica del cemento Portland, es la relación entre la densidad del cemento Portland a una cierta temperatura, con respecto a la densidad del agua a esa misma temperatura.

### **2.4 Aditivo**

MasterGlenium es un aditivo súper plastificante reductor de agua, a base de policarboxilatos. Es muy efectivo en la producción de concreto con diferentes niveles de manejabilidad incluyendo aplicaciones que requieren concreto autocompactante o concreto autocompactante (SCC). Cumple con la especificación ASTM C 494 para aditivos reductores de agua tipo A y aditivo reductor de agua de alto rango, Tipo F. Este desarrolla resistencia inicial extremadamente alta. (Master Builders Solutions Ecuador S.A., 2017). EL rango de dosificación que se utiliza es de 0.2% -1.6%, para esta investigación se utilizará el 1% del peso de cemento de acuerdo al diseño de mezcla desarrollado posteriormente.

### CAPÍTULO 3 : DISEÑO DE MEZCLA ACI 221.1 Y COMPACTACIÓN

Este es un proceso en el cual se determinan las cantidades de los materiales a utilizar en la confección de los hormigones (cemento, agregado grueso y fino, aditivos entre otros materiales adicionales). El proceso se describe detalladamente en el ACI 211.1, en donde se estiman diferentes parámetros para elaborar la mezcla de hormigón y lograr las características requeridas en el hormigón fresco y endurecido.

#### 3.1 Datos preliminares de los materiales

##### 3.1.1 Análisis Granulométrico del Árido Grueso

Tabla 3.1

*Tabla granulométrica del Árido Grueso*

Tamiz		Masa Retenida		Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa
		Parcial	Acumulado			
Pulgadas	mm	g	g	%	%	%
1 ½"	38.10	0	0	0	0	100
1"	25.40	0	0	0	0	100
¾"	19.10	76	76	2.54	2.54	97.46
½"	12.70	1903	1979	63.62	66.17	33.83
3/8"	9.52	547	2526	18.29	84.45	15.55
Nº4	4.76	465	2991	15.55	100	0.00
Masa Seca antes de lavado (B)						3000 g
Masa seca después de lavado (C)						2991 g

*Fuente:* Elaboración propia

A= Porcentaje de partículas del árido grueso

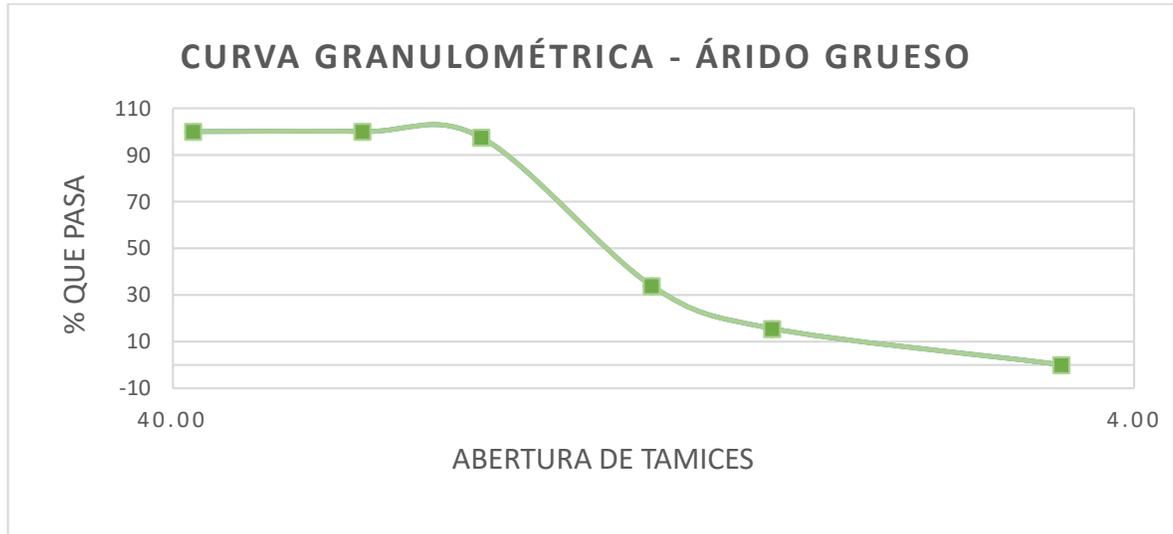
$$A = \frac{B - C}{B} * 100$$

$$A = \frac{3000 - 2991}{3000} * 100$$

$$A = 0.3 \%$$

El porcentaje de material del árido grueso que paso el tamiz N°4 es de 0.3% en relación a la muestra seca antes del lavado.

Figura 3.1: Curva granulométrica del árido grueso



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2 Análisis Granulométrico del Árido Fino

Tabla 3.2

Tabla granulométrica del árido fino

Tamiz	Masa Retenida		Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	
	Parcial	Acumulado				
Pulgadas	mm	g	g	%	%	
N°8	2.38	66	66	6.62	6.62	93.38
N°16	1.19	247	313	24.77	31.39	68.61
N°30	0.59	298	611	29.89	61.28	38.72
N°50	0.297	268	879	26.88	88.16	11.84
N°100	0.149	98	977	9.83	97.99	2.01
N°200	0.075	20	997	2.01	100.00	0.00
Masa Seca antes de lavado (B)					1000 g	
Masa seca después de lavado (C)					997 g	

Fuente: Elaboración propia

A= Porcentaje de partículas del árido fino

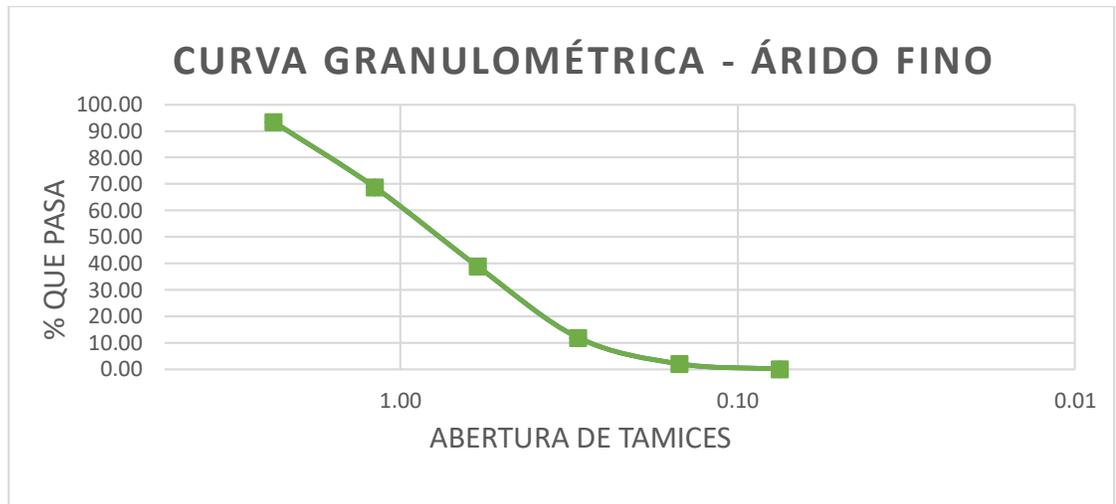
$$A = \frac{B - C}{B} * 100$$

$$A = \frac{1000 - 997}{1000} * 100$$

$$A = 0.3 \%$$

El porcentaje de material del árido fino que paso el tamiz N°4 es de 0.3% en relación a la muestra seca antes del lavado.

Figura 3.2. Curva granulométrica del árido fino



*Fuente:* Elaboración propia

### 3.1.3 Densidades y absorción de los áridos gruesos y finos

Tabla 3.3

*Tabla de densidades y absorciones del árido grueso*

Masa en el aire de la muestra secada en el horno	A	2970
Masa en el aire de la muestra en condición S.S.S	B	3000
Masa en el agua de la muestra en condición S.S.S	C	1864
<hr/>		
Densidad relativa (gravedad específica) (SH) = $\frac{A}{B-C}$		2.61
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) = $\frac{B}{B-C}$		2.64
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) = $\frac{A}{A-C}$		2.69
Densidad (SH) = $\frac{997.5*A}{B-C}$		2607.90
Densidad (SSS) = $\frac{997.5*B}{B-C}$		2634.24
Densidad aparente = $\frac{997.5*A}{A-C}$		2678.64
Absorción % = $\frac{B-A}{A} * 100$		1.01
Humedad % = $\frac{Densidad (SSS)-Densidad (SH)}{Densidad (SH)} * 100$		1.010

---

*Fuente:* elaboración propia obtenido de: (León & Chimbo, 2018)

Tabla 3.4

*Tabla de densidades y absorción del árido fino*

Masa de muestra seca al horno	A	493
Masa del matraz lleno con agua, hasta la marca	B	654.74
Masa del matraz lleno con muestra y agua hasta la marca	C	970
Masa de muestra SSS, para proceso gravimétrico	D	500

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SH)} = \frac{A}{B+D-C} \quad \boxed{2.65}$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)} = \frac{D}{B+D-C} \quad \boxed{2.7}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{B+A-C} \quad \boxed{2.8}$$

$$\text{Densidad (SH)} = \frac{997.5 \cdot A}{B+D-C} \quad \boxed{2646}$$

$$\text{Densidad (SSS)} = \frac{997.5 \cdot D}{B+D-C} \quad \boxed{2700}$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{997.5 \cdot A}{B+A-C} \quad \boxed{2797}$$

$$\text{Módulo de Finura \%} = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado}}{100} \quad \boxed{2.85}$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{D-A}{A} * 100 \quad \boxed{2}$$

$$\text{Humedad \%} = \frac{\text{Masa original} - \text{Mesa seca en el horno}}{\text{Mesa seca en el horno}} * 100 \quad \boxed{2.04}$$

*Fuente:* elaboración propia obtenido de: (León & Chimbo, 2018)

### 3.1.4 Densidad del cemento

Aquí se determina la densidad del cemento mediante un ensayo de laboratorio, donde se inicia con una masa de cemento conocida seca y así determinar el volumen de cemento, como no se puede utilizar agua porque esta haría fraguar al cemento, en cambio se emplea sustancias líquidas inertes, en este caso se usó gasolina Eco país.

Tabla 3.5

*Tabla de densidad y gravedad específica del cemento*

Masa del cemento (g)	64.02
Temperatura (°C)	23.00
Lectura A (ml)	0.00
Lectura B (ml)	20.10

Densidad del agua a 23°C = 0.99762 g/cm<sup>3</sup>

#### Volumen desplazado:

Volumen desplazado = *Lectura B* – *Lectura A*

20.10
-------

#### Densidad del cemento:

$$\rho \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Masa del cemento (g)}}{\text{Volumen Desplazado (cm}^3\text{)}}$$

3.185
-------

#### Gravedad específica:

$$(\text{Gs}) = \frac{\text{Densidad del cemento}}{\text{Densidad del agua a 23°C}} * 100$$

3.193
-------

---

*Fuente:* elaboración propia obtenido de: (León & Chimbo, 2018)

### **3.2 Dosificación por el método del ACI**

#### **3.2.1 Selección del asentamiento**

De acuerdo con el método de diseño del ACI 22.1, existen asentamientos que recomiendan según el tipo de construcción, sistemas de colocación y compactación especificados en la sección de ANEXOS.. Según tabla se selecciona por el tipo de construcción para prefabricados de alta resistencia un asentamiento entre 0 a 20 mm.

#### **3.2.2 Tamaño máximo del agregado**

Los agregados bien gradados tienen menos vacíos y menor área superficial en comparación con los agregados de menor tamaño, en consecuencia, mientras menor sea el volumen para llenar la pasta, menor será la superficie, es decir que se usa menos agua y cemento. El concreto con la granulometría óptima del agregado es más fácil de consolidarse y colocarse. La consolidación del agregado grueso, bien como de mezclas más rígidas mejoran la calidad y la economía. Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un concreto poroso y débil. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004). Para esta investigación se utiliza el tamaño máximo de 3/4” 19 cm según el tipo de construcción de elementos prefabricados.

Tabla 3.6

*Tamaños máximos de los agregados según el tipo de construcción*

Dim. mín de la sección (cm)	Tamaño máximo en pulgadas (mm)			
	Muros reforzados vigas y columnas	Muros sin refuerzos	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6-15	½”(12)-¾”(19)	¾”(19)	¾”(19)-1”(25)	¾”(19)-1 ¾”(38)
19-29	¾”(19)-1 ½”(38)	1 ½”(38)	1 ½”(38)	1 ½”(38)- 3”(76)
30-74	1 ½”(38)-3”(76)	3”(76)	1 ½”(38)- 3”(76)	3”(76)
75 o más	1 ½”(38)-3”(76)	6”(152)	1 ½”(38)- 3”(76)	3”(76)- 6”(152)

*Fuente:* Elaboración propia obtenido de: (Sánchez, 1994)

### 3.2.3 Estimación de contenido de agua y aire

En la elaboración de la mezcla de concreto queda naturalmente aire dentro de la misma, por ello se establecen requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes asentamientos y tamaños máximos nominales de agregado según se muestra en la tabla de la sección de ANEXOS. Para la estimación de la muestra de hormigón se ocuparán los datos de la primera parte de la tabla mostrada sin incorporar aire ya que no se utiliza algún aditivo incorporador de aire, posteriormente se determina la cantidad de agua señalada en la tabla

Tabla 3.7

*Tabla para determinar la estimación de contenido de aire*

<b>Contenido de aire atrapado (%)</b>	
<b>Tamaño máximo</b>	<b>Aire atrapado (%)</b>
3/8	3
1/2	2.5
3/4	2
1	1.5
1 1/2	1
2	0.5
3	0.3
6	0.2
<b>AGUA</b>	<b>205 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>AIRE</b>	<b>2%</b>

*Fuente:* Elaboración propia obtenido de: (Apuntes de Ingeniería civil )

### 3.2.4 Determinación de la resistencia de diseño

La resistencia de diseño requerida se determina de acuerdo a la Tabla 3.8  
Resistencia de cuando no existen datos que permitan determinar la desviación estándar.

Tabla 3.8

*Resistencia de diseño requerida*

<b>Resistencia especificada f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia de diseño de la mezcla f'cr (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Menos de 210 kg/cm <sup>2</sup>	f'c + 70 kg/cm <sup>2</sup>
De 210 kg/cm <sup>2</sup> a 350 kg/cm <sup>2</sup>	f'c + 85 kg/cm <sup>2</sup>
Más de 350 kg/cm <sup>2</sup>	f'c + 100 kg/cm <sup>2</sup>
<b>f'c</b>	<b>320 kg/cm<sup>2</sup></b>

*Fuente:* Elaboración propia obtenido de: (Sánchez, 1994)

### 3.2.5 Relación agua cemento

La resistencia de diseño requerida se determina de acuerdo a la

Tabla 3.9; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** cuando no existen datos que permitan determinar la desviación estándar.

Tabla 9

*Cuadro relación agua cemento*

<b>Relación agua / cemento</b>			
<b>Resis. compresión (28 días)</b>		<b>Sin aire</b>	<b>Con aire</b>
<b>150</b>	170	0.80	0.72
<b>200</b>	120	0.70	0.61
<b>250</b>	70	0.62	0.53
<b>300</b>	20	0.55	0.46
<b>350</b>	30	0.48	0.40
<b>400</b>	80	0.43	0.34
<b>450</b>	130	0.38	0.31

**W/C                      0.52**

*Fuente:* Elaboración propia obtenido de: (Apuntes de Ingeniería civil )

### 3.2.6 Contenido de cemento

$$C = \frac{A}{A / C} \quad \text{Ecuación 5}$$

C = Contenido de cemento, en kg/m<sup>3</sup>

A = Requerimiento de agua de mezcla, kg/m<sup>3</sup>

A/C = Relación agua cemento, por peso

$$C = \frac{205 \text{ kg/cm}^3}{0.52} = 392.72$$

### 3.2.7 Contenido de agregado grueso

Tabla 3.10

*Volumen de concreto para diferentes módulos de finura*

Tamaño máximo del agregado (pulg.)	Contenido de agregado grueso (%)						
	Módulo de finura						
	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3
3/8	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44
1/2	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53
3/4	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60
1	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65
1 1/5	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69
2	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
3	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76
6	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81

Agregado grueso	0.6	%
Peso agregado grueso	986.4	Kg /m3

Fuente: Elaboración adaptado de: (Apuntes de Ingeniería civil )

### 3.2.8 Estimación de contenido de agregado fino

Se utiliza el método de volumen absoluto, el cual requiere de volúmenes de cemento, agua, contenido de aire y agregado grueso. El volumen ocupado de cada material será calculado con el peso dividido por su respectivo peso específico, como se muestra en la siguiente ecuación: (Sánchez, 1994)

$$Vi = \frac{Pi}{Gi} \quad \text{Ecuación 6}$$

Vi = Volumen absoluto del material.

Pi = Peso seco del material.

Gi = Peso específico aparente seco del material.

Tabla 3.11

*Peso seco y volumen absoluto de los materiales por metro cúbico del hormigón*

AGUA	0.21	$m^3$
CEMENTO	0.12	$m^3$
A. GRUESO	0.37	$m^3$
AIRE	0.02	$m^3$
A. FINO	0.278	$m^3$
A. FINO	738.66	Kg

*Fuente:* Elaboración propia

### 3.2.9 Ajuste por humedad de los agregados

Tabla 3.12

*Tabla de dosificación por peso*

DOSIFICACIÓN EN PESO		
AGUA	205.0	Kg
CEMENTO	394.2	Kg
A. FINO	752.5	Kg
A. GRUESO	996.4	Kg

*Fuente:* Elaboración propia

## CAPÍTULO 4 : CONFECCIÓN DE LOS HORMIGONES CON CEMENTO TIPO HE

### 4.1 Fabricación de las probetas de hormigón

Para el proceso de fabricación de los hormigones se utilizó probetas de tubo PVC con dimensiones de estándar de 10cm de diámetro y 20cm de largo, se implantaron tapones en la parte inferior de los tubos como parte del molde, tanto los tubos PVC como los moldes fueron lubricados, evitando así que la mezcla se quede adherida en las paredes del molde. Seguidamente se procede a la colocación de hormigón en las probetas, rigiéndonos con la Norma Técnica Ecuatoriana (2010), en la cual el hormigón fresco se lo muestrea y se determinan sus características físicas, siguiendo los procedimientos normalizados. Se toman muestras de cilindros o vigas de acuerdo a los procedimientos, la compactación puede ser realizada con varilla de acero, recta, lisa y de sección circular o por el método de vibración.

Tabla 4.1

*Compactación de acuerdo de los procedimientos*

Diámetro del cilindro o ancho de la viga (mm)	Diámetro de la varilla (mm)
<150	10±2
>150	16±2

*Fuente:* Elaboración propia obtenido de: (Norma Técnica Ecuatoriana , 2010)

En esta investigación se utilizó una misma dosificación para todos los ensayos realizados. Utilizando cemento tipo HE para obtener resistencias mayores a la compresión a edades tempranas. Para la compactación exterior se debe utilizar un mazo con cabeza de caucho o cuero, con una masa de 0.6 kg ± 0.2 kg.

La Norma Técnica Ecuatoriana establece requisitos para determinar el método de compactación especificada en la Tabla 4.2 el método mediante el varillado en la, el cuál utilizaremos en esta investigación.

Tabla 4.2

*Requisitos para determinar el método de compactación*

<b>Asentamiento (mm)</b>	<b>Método de compactación</b>
>25	Varillado o vibración
<25	Vibración

*Fuente:* Elaboración propia obtenido de: (Norma Técnica Ecuatoriana , 2010)

Tabla 4.3

*Número de capas y golpes para la compactación según el tipo de espécimen y tamaño*

<b>Tipo de espécimen y tamaño</b>	<b>Número de capas de aproximadamente igual altura</b>	<b>Número de golpes con la varilla por capa</b>
<b>Cilindros:</b>		
<b>Diámetro (mm)</b>		
100	2	25
150	3	25
225	4	50

*Fuente:* Elaboración adaptado de (Norma Técnica Ecuatoriana , 2010)

De acuerdo a la norma establecida anteriormente con respecto a nuestro diseño de mezcla, se tiene un asentamiento >25 y un diámetro del espécimen de 10cm, por el cual se utiliza el método de varillado colocando 2 capas compactadas con 25 golpes usando la varilla, seguido de la compactación interna se debe golpear al exterior del molde de 10 a 15 veces con el mazo.

## 4.2 Curado a temperatura

El método que se utilizará para el curado de los cilindros de hormigón es por medio de un termotanque de agua en el que se utilizará niquelina la cual subirá la temperatura del agua que a través de una manguera que estará enroscada alrededor de cada cilindro calentará dichas muestras a las temperaturas planteadas de 30, 35 y 40°C regulando el tanque para que se mantenga por los tiempos establecidos de 16, 20 y 24 horas.

Figura 3. Método de aplicación de temperatura a los especímenes



*Fuente:* Elaboración propia

El termotanque tiene una capacidad para 40 galones de agua el cual es llenado por medio de una manguera conectada a cualquier distribuidor de agua.

Figura 4. Instalación del equipo para el método de curado



*Fuente:* Elaboración propia

El termotanque está conectado a un contactor térmico que es alimentado con electricidad el cual controla la niquelina para calentar el agua, por medio de una luz piloto controlamos al equipo.

Figura 5. Contactor Térmico



*Fuente:* Elaboración propia

Se dispone de un controlador de temperatura conectado a una termocupla y por medio de un tablero se puede determinar y controlar la temperatura a nuestra conveniencia.

Figura 6. Controlador de temperatura



*Fuente:* Elaboración propia

Se dispone de una bomba de recirculación y un tanque neumático que controlan la presión del agua. La bomba garantiza que el agua caliente este siempre lo más cerca del punto objetivo y evitar derroches de agua. El tanque guarda agua y aire a presión regulando, así que suministra el agua en un rango de presión correcto para que la bomba funcione de manera adecuada minimizando los picos de presión que puedan existir.

Figura 7. Bomba de recirculación



*Fuente:* Elaboración propia

Figura 8. Bomba de recirculación conectada al tanque hidroneumático



*Fuente:* Elaboración propia

Como se observa en la Figura 9 se dispone de una válvula de alivio de presión, el cual tiene como objetivo aliviar la presión en caso de que el agua supere el límite establecido, en el caso de que exista un exceso de presión, libera aire para evitar cualquier tipo de explosión.

Figura 9. Aliviador de aire



*Fuente:* Elaboración propia

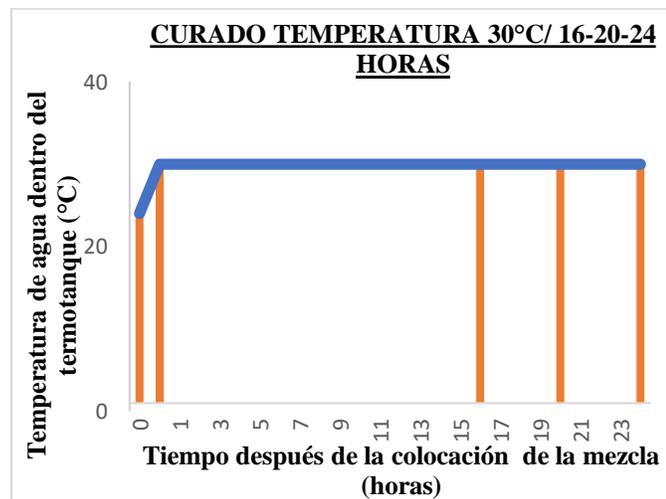
En la región Costa la temperatura ambiente es más alta que en la región Sierra los elementos de hormigón obtienen mayores resistencias en edades más tempranas. Por temas de fabricación y producción, en la Costa existe mayor rendimiento en la construcción de elementos de hormigón que en nuestro entorno entonces algunas empresas del Austro como por ejemplo RFV Carrasco Construcciones quiere acelerar su productividad en sus elementos prefabricados y tener mayores resistencias en menor tiempo como lo es en la región Costa.

En este trabajo de titulación se establecieron las temperaturas de 30°C, 35°C y 40°C para el curado de las probetas bajo las condiciones de nuestro entorno. Para el proceso del curado a temperatura una vez colocada la mezcla en las probetas, se realizó un aumento gradual de la temperatura con rangos entre 5°C a 10°C hasta llegar a la máxima

temperatura como se muestra en las siguientes figuras, así evitando el choque térmico y cambios en el volumen del hormigón.

Como se muestra en la Figura 4.10 para este ensayo se determinó un aumento de tasa de calentamiento de 6 °C en 30 minutos hasta alcanzar la temperatura de curado requerida, de esta manera mantenido constante la temperatura de 30°C hasta que los hormigones hayan alcanzado las edades deseadas de 16, 20, 24 horas.

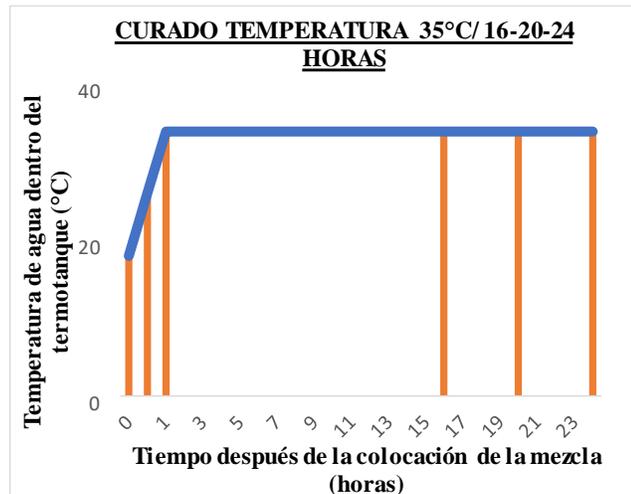
Figura 4.10. Ciclo de curado a temperatura de 30°C



*Fuente:* Elaboración propia

Para el curado a temperatura de 35°C se realizó el mismo proceso, únicamente variando el aumento de la tasa de calentamiento de 8 °C cada 30 minutos durante un período de una hora, hasta alcanzar la temperatura máxima de curado como se muestra en la Figura 4.11. Ciclo de curado a temperatura de 35°C.

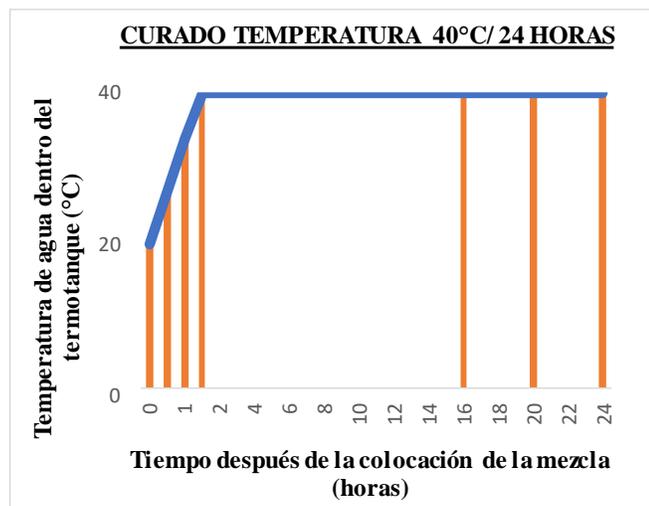
Figura 4.11. Ciclo de curado a temperatura de 35°C



*Fuente:* Elaboración propia

Finalmente, para el último ensayo de curado a temperatura de 40 °C, el proceso del aumento gradual de temperatura se realizó durante un período de una hora y media, aumentando 7 °C cada 30 minutos hasta que la temperatura del curado llegue a su máxima establecida y así manteniéndose constante hasta que cumpla con los períodos de tiempo de curado mencionados anteriormente.

Figura 4.12. Ciclo de curado a temperatura de 40°C



*Fuente:* Elaboración propia

### 4.3 Resultados de pruebas de resistencia a compresión de las probetas de hormigón curadas a temperatura

En este trabajo se probaron un total de 36 cilindros de hormigón, utilizando el método de curado a temperatura con 30, 35 y 40 °C, curándolos en periodos de 16 horas, 20 horas, 24 horas y posteriormente sometiéndolos a ensayos de compresión obteniendo los siguientes resultados mostrados en las tablas.

Tabla 4.4

*Resultados de pruebas de resistencia a la compresión con curado a temperatura de 30°C*

Ensayo	Edad (horas)	Temperatura (°C)	Resistencia a la compresión (Mpa)		Promedio (Mpa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm2)		Promedio (Kg/cm2)
#1	16	Ambiente	8.7	8	8.35	88.71	81.58	85.14
	20		12.4	11.5	11.95	126.44	117.27	121.85
	24		18.4	16.1	17.25	187.62	164.17	175.90
	16	30 °C	19.6	20	19.8	199.86	203.94	201.90
	20		18.6	19.5	19.05	189.66	198.84	194.25
	24		21.5	22.1	21.8	219.24	225.35	222.29

*Fuente:* Elaboración propia

**Hora del inicio de curado:** 5pm

**Temperatura inicial del agua:** 24 °C

Con respecto al promedio de los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión por el método de curado a temperatura, se logró un 63.1%, 60.7%, 69.5% de resistencia de diseño durante los periodos de 16 horas, 20 horas y 24 horas, respectivamente para la temperatura de 30 °C.

Tabla 4.5

*Resultados de pruebas de resistencia a la compresión con curado a temperatura de 35°C*

Ensayo	Edad (horas)	Temperatura (°C)	Resistencia a la compresión (Mpa)		Promedio (Mpa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )		Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
#2	16	Ambiente	8.1	7.9	8	82.60	80.56	81.58
	20		11.8	12.2	12	120.32	124.40	122.36
	24		12.1	14.5	13.3	123.38	147.86	135.62
	16	35 °C	16.3	17.9	17.1	166.21	182.53	174.37
	20		17.8	16.3	17.05	181.51	166.21	173.86
	24		17.7	18.6	18.15	180.49	189.66	185.08

*Fuente:* Elaboración propia

**Hora del inicio de curado:** 6pm

**Temperatura inicial del agua:** 19 °C

A partir de la Tabla 4.5 con los resultados obtenidos de las resistencias a la compresión, se logró una compresión de 54.5%, 54.3% y 57.8% de resistencia de diseño en un período de 16 horas, 20 horas y 24 horas, respectivamente con la temperatura de 35 °C.

Tabla 4.6

*Resultados de pruebas de resistencia a la compresión con curado a temperatura de 40°C*

Ensayo	Edad (horas)	Temperatura (°C)	Resistencia a la compresión (Mpa)		Promedio (Mpa)	Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )		Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
#3	16	Ambiente	9.1	8.2	8.65	92.79	83.62	88.20
	20		14.3	14.4	14.35	145.82	146.84	146.33
	24		14.5	17.4	15.95	147.86	177.43	177.43
	16	40 °C	18.8	19.9	19.35	191.70	202.92	197.31
	20		21.6	21.4	21.5	220.26	218.22	219.24
	24		21.4	23.6	22.5	218.22	240.65	229.43

*Fuente:* Elaboración propia

**Hora del inicio de curado:** 5pm

**Temperatura inicial del agua:** 20 °C

De la Tabla 4.6, para el curado a temperatura de 40 °C, se pudo obtener un 61.7%, 68.5% y 71.7% de resistencia de diseño en los períodos de 16 horas, 20 horas y 24 horas.

**Análisis comparativo entre las temperaturas de 30°C y temperatura ambiente:**

**Temperatura a 30 °C:**

Tabla 7

*Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura de 30°C*

Tiempo Horas	Resistencia	
	kg/cm2	%
16	201.9	63.1
20	194.3	60.7
24	222.3	69.5

*Fuente:* Elaboración propia

**Temperatura Ambiente:**

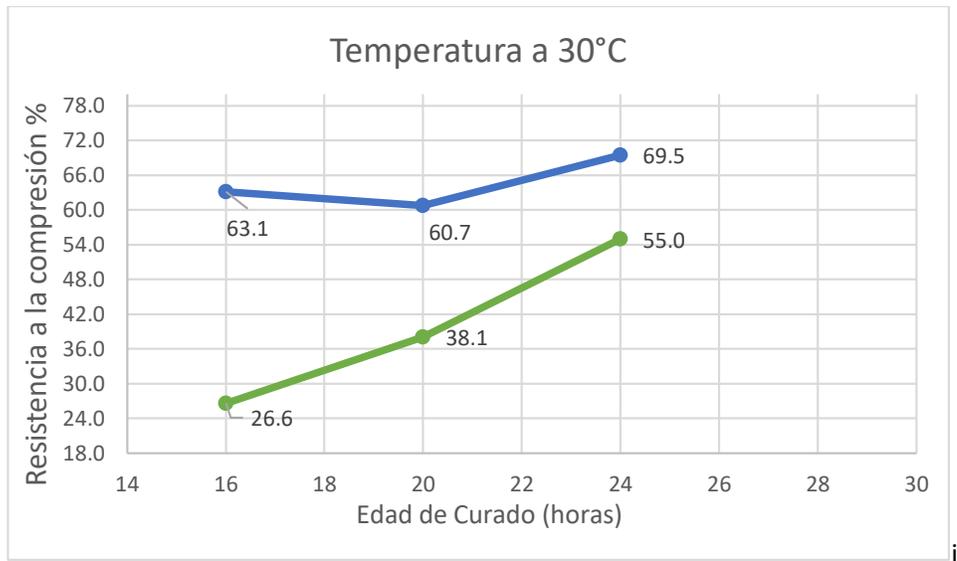
Tabla 8

*Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura Ambiente*

Tiempo Horas	Resistencia	
	kg/cm2	%
16	85.1	26.6
20	121.9	38.1
24	175.9	55.0

*Fuente:* Elaboración propia

Figura 13. Comparación de las resistencias de diseño en porcentaje curados a temperatura de 30°C y ambiente



*Fuente:* Elaboración Propia

En la Figura 13 se observa que en las primeras 16 horas tenemos el mayor aumento en la resistencia de los hormigones sometidos a 30 °C y luego en las 20 y 24 horas se mantiene con la misma resistencia y aumenta en menor proporción. En la temperatura ambiente en las primeras 16 horas tenemos una resistencia baja, pero aumenta de forma muy rápida en las 20 y 24 horas.

En las primeras 16 horas en los cilindros sometidos a temperatura 35°C tenemos una resistencia del 63.1% mientras que temperatura ambiente se obtuvo una resistencia del 26.6%, con una diferencia del 36.5%. En las 24 horas tenemos una resistencia del 69.5% a temperatura de 30°C mientras que a temperatura ambiente se obtuvo una resistencia del 55%, con una diferencia menor del 14.5%.

**Temperatura a 35 °C:**

Tabla 9

*Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura de 35°C*

Tiempo Horas	Resistencia	
	kg/cm2	%
16	174.4	54.5
20	173.9	54.3
24	185.1	57.8

*Fuente:* Elaboración propia

**Temperatura Ambiente:**

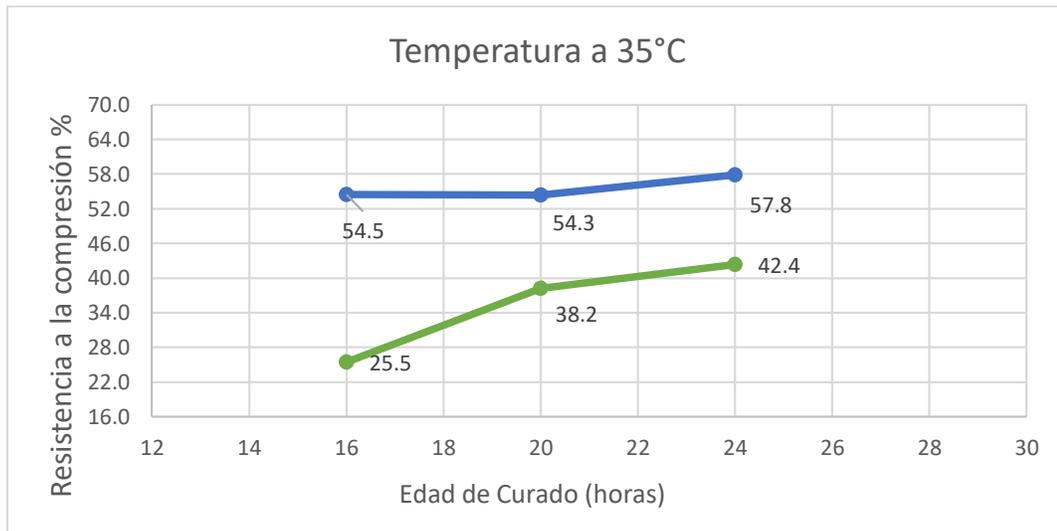
Tabla 10

*Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura Ambiente*

Tiempo Horas	Resistencia	
	kg/cm2	%
16	81.6	25.5
20	122.4	38.2
24	135.6	42.4

*Fuente:* Elaboración Propia

Figura 14. Comparación de las resistencias de diseño en porcentaje curados a temperatura de 35°C y ambiente



*Fuente:* Elaboración propia

En la Figura 14 se observa que en las primeras 16 horas tenemos el mayor aumento en la resistencia de los hormigones sometidos a 35°C y luego en las 20 y 24 horas se mantiene con la misma resistencia y aumenta en menor proporción. En la temperatura ambiente en las primeras 16 horas tenemos una resistencia baja, pero aumenta de forma exponencial en las 20 y 24 horas.

En las primeras 16 horas en los cilindros sometidos a temperatura 35°C tenemos una resistencia del 54.5% mientras que temperatura ambiente se obtuvo una resistencia del 25.5%, con una diferencia del 29%. En las 24 horas tenemos una resistencia del 57.8% a temperatura de 35°C mientras que a temperatura ambiente se obtuvo una resistencia del 42.4%, con una diferencia menor del 15.5%.

### **Temperatura a 40 °C:**

Tabla 11

*Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura de 40°C*

<b>Tiempo</b>	<b>Resistencia</b>	
	<b>Horas</b>	<b>kg/cm2</b>
16	197.3	61.7
20	219.2	68.5
24	229.4	71.7

*Fuente:* Elaboración propia

### **Temperatura Ambiente:**

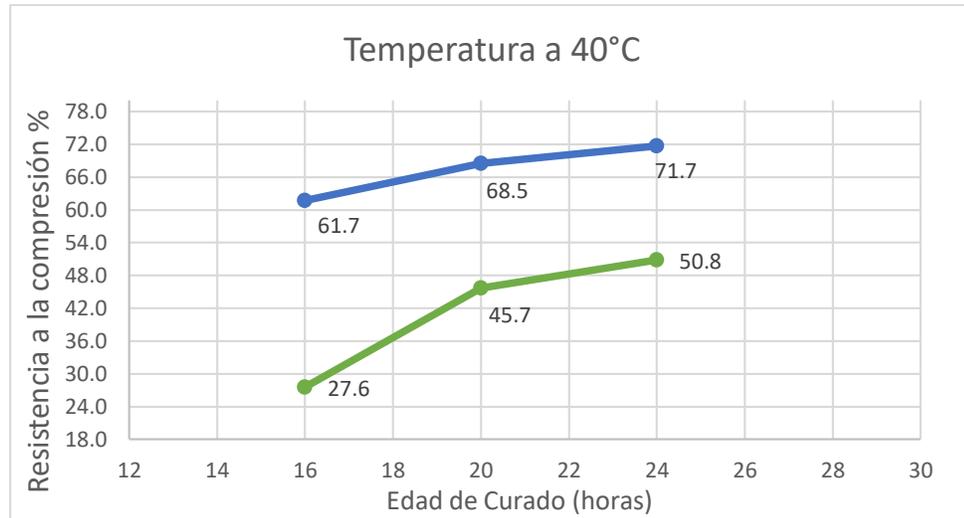
Tabla 12

*Porcentaje de Resistencia de Diseño en Temperatura de 40°C*

<b>Tiempo</b>	<b>Resistencia</b>	
	<b>Horas</b>	<b>kg/cm2</b>
16	88.2	27.6
20	146.3	45.7
24	162.6	50.8

*Fuente:* Elaboración propia

Figura 15. Comparación de las resistencias de diseño en porcentaje curados a temperatura de 40°C y ambiente

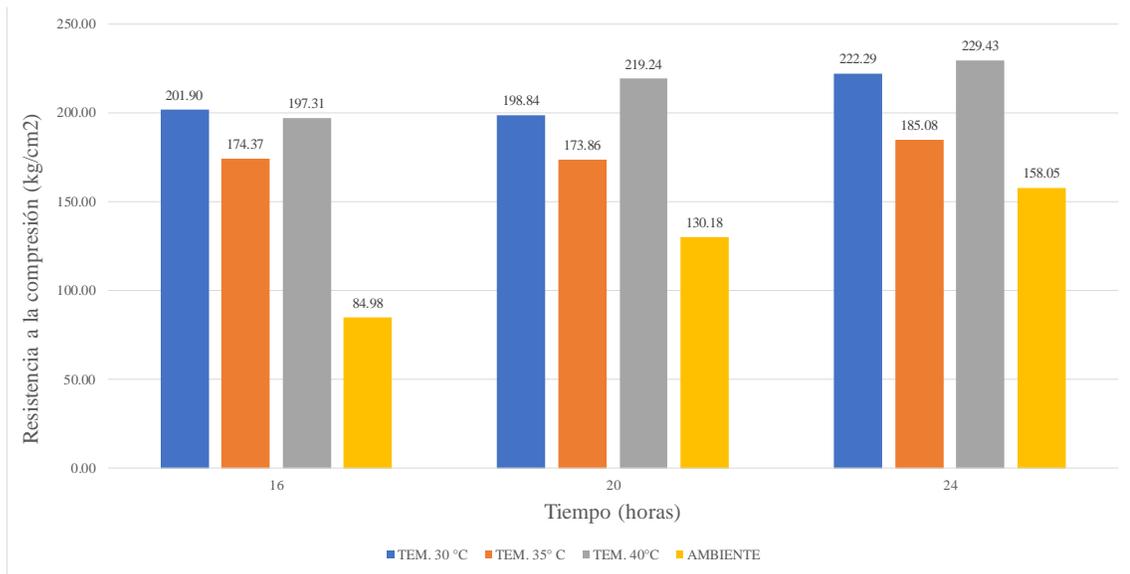


*Fuente:* Elaboración propia

En la Figura 15 se observa que en las primeras 16 horas tenemos el mayor aumento en la resistencia de los hormigones sometidos a 35°C y luego en las 20 y 24 horas se mantiene con la misma resistencia y aumenta en menor proporción. En la temperatura ambiente en las primeras 16 horas tenemos una resistencia baja, pero aumenta de forma exponencial en las 20 y 24 horas.

En las primeras 16 horas en los cilindros sometidos a temperatura 40°C tenemos una resistencia del 61.7% mientras que temperatura ambiente se obtuvo una resistencia del 27.6%, con una diferencia del 34.1%. En las 24 horas tenemos una resistencia del 71.7% a temperatura de 35°C mientras que a temperatura ambiente se obtuvo una resistencia del 50.8%, con una diferencia menor del 20.9%.

Figura 16. Gráfica comparativa de los distintos tiempos y temperatura de curado



*Fuente:* elaboración propia

En la Figura 16 se muestra los valores de las resistencias obtenidas en los ensayos curados a diferentes temperaturas en sus respectivas horas, como resultado en todas las temperaturas probadas incrementó la resistencia en comparación a las probetas curadas a temperatura ambiente. Comparando con las diferentes temperaturas establecidas, se obtuvieron mejores resultados con el curado a 40 °C, debido a su ciclo satisfactorio de curado a temperatura, en el que se incrementó gradualmente la temperatura durante una hora y media. Como se muestra en la gráfica el curado a temperatura de 40° C tiene un incremento uniforme de la resistencia en comparación a las demás temperaturas que varían sus resistencias cuando aumenta el periodo de curado, esto se debe a que el ensayo presentado de 40 °C tuvo mayor tiempo para fraguar antes de llegar a su temperatura de curado máxima, por lo que se en ese tiempo se evaporó naturalmente la humedad de la superficie del hormigón en lugar de secarse demasiado pronto debido a la aplicación de calor en un tiempo corto, evitando el choque térmico el cual afecta negativamente a su resistencia y volumen del hormigón.

## 4.4 Conclusiones y recomendaciones

### 4.4.1 Conclusiones

- De manera general, se concluye por medio de la ejecución de este trabajo de titulación que los resultados mostrados en los ensayos de compresión muestran que el hormigón aumenta de forma inmediata su resistencia cuando es sometido a temperatura, determinando así al calor como una propiedad que acelera el curado del hormigón.
- Las máximas resistencias se obtuvieron en las muestras sometidas a una temperatura de 40°C, a las 24 horas se llegó a una resistencia del 71.7% con respecto a la resistencia de 320 kg/cm<sup>2</sup>.
- En los resultados mostrados en los ensayos de compresión, se observa como los hormigones sometidos a temperatura aumenta de forma inmediata su resistencia durante las primeras 16 horas, luego de eso sigue aumentando, pero en menor proporción.
- En cambio, en los resultados en los ensayos de compresión de los hormigones sometidos a temperatura ambiente se observa que en las primeras 16 horas su resistencia es baja, pero aumenta de forma muy rápida en el transcurso de las 16 a las 24 horas.
- En la primera muestra de los especímenes sometidos a una temperatura de 30°C, al empezar con una temperatura inicial del agua de 24°C, se obtuvo una mayor resistencia en las primeras 16 horas a comparación de las otras muestras sometidas a 35 y 40 °C. La muestra de 30°C a las 16 horas llegó a una resistencia de diseño de 63.1%, mientras que la muestra de 40°C a las 16 horas obtuvo una resistencia de diseño del 61.7%.

#### 4.4.2 Recomendaciones

- Mantener un control estricto en base a la temperatura y el tiempo de curado
- Usar moldes de PVC con aire comprimido las cuales cumplen con las normas ASTM, para que las probetas elaboradas se desmolden fácilmente.
- Realizar otros estudios y futuros ensayos en las que las muestras tengan un retraso inicial para que el hormigón se evapore naturalmente sin aplicar el calor de manera inmediata.
- Realizar futuros ensayos en los que los moldes tengan un previo calentamiento y al colocar la mezcla de hormigón, las muestras ya empiecen con la temperatura de estudio que se esté realizando.
- Realizar futuras muestras curadas a temperatura en edades tempranas de 8,12,14 horas para así determinar si mejora las propiedades del hormigón y acelera la resistencia a la compresión.
- Realizar pruebas de resistencias a compresión a los 28 días para determinar el comportamiento del hormigón curados a temperatura ambiente y a temperatura.

## Bibliografía

- Abanto, F. (2009). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO (TEORÍA Y PROBLEMAS)*. Lima: San Marcos E.I.R.L.
- Al-Assadi, G. (2009). *INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE HORMIGÓN SOMETIDO A CICLOS HIELO-DESHIELO*. Madrid.
- Apuntes de Ingeniería civil . (s.f.). *UDocz*. Obtenido de TABLAS DOSIFICACIÓN ACI 211.1: [www.udocz.com](http://www.udocz.com)
- Cando Lara, L. F. (2016). *ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO CON FIBRAS DE ACERO RECICLADO*. QUITO.
- Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica. (2007). Historia del Hormigón. En *Materiales II* (pág. 8).
- Gómez, J. (2007). *Materiales de Construcción*. Monterrey.
- Gómez, M., & Vidal, S. (2006). Influencia en la Resistencia a Compresión de Hormigones por Efecto de la Temperatura Ambiente. *Revista de la Construcción* , 2-4.
- HOLCIM. (2021). *CEMENTO HOLCIM PREMIUM*.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* . Skokie, Illinois: Portland Cement Association .
- Kosmatka, SH, B. Kerkhoff, WC Panarese. (2002). *Design and Control of Concrete Mixtures Portland Cement Association*. United States of America: Portland Cement Association.
- Krishna, R. (s.f.). Ensayos acelerados de resistencia del hormigón. *The Indian Concrete Journal*.
- Laica, C. D. (2013). *Repositorio UTA*. Obtenido de “EL CURADO DEL HORMIGÓN Y SU INCIDENCIA EN LAS:  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6528/1/Tesis%20763%20-%20Manobanda%20Laica%20Carlos%20David.pdf>
- León, P., & Chimbo, R. (2018). *Repositorio Institucional*. Obtenido de Elaboración de guías metodológicas para ensayos de laboratorio de la asignatura de Materiales de Construcción de la Universidad del Azuay:  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7979/1/13716.pdf>
- Manobanda Laica, C. D. (2013). *EL CURADO DEL HORMIGÓN Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS FINALES*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Master Builders Solutions Ecuador S.A. (06 de Enero de 2017). *Sika Building Trust*. Obtenido de MasterGlenium 7971: <https://mbcc.sika.com/es-ec>
- Metha, K., & Monteiro, P. (1985). *Concreto Estructuras, propiedades y materiales*. México: imcyc.

- Moreno, T. (2019). *uma.es*. Obtenido de Introducción a las estructuras de hormigón.
- Nistal Cordero, Á. F., Retana Maqueda, M. j., & Ruiz Abrio, T. (2012). EL HORMIGÓN: HISTORIA, ANTECEDENTES EN OBRAS Y FACTORES. *Tecnología y desarrollo*, 16.
- Norma Técnica Ecuatoriana . (2010). *Norma Técnica Ecuatoriana - NTE INEN 857*. Quito.
- Norma, E. (2010). *Norma Técnica Ecuatoriana - NTE INEN 857*. Quito.
- Pawar, Y., & Shrinkant, K. (2020). Curing of Concrete: A Review. *INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY (IRJET)*, 5.
- Romo, M. (2008). *HORMIGÓN ARMADO*. Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Sánchez, D. (1994). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: BHANDAR.
- Serrano, M., & Pérez, D. (2010). Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 14.

**ANEXOS.****Anexo 1: Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación**

<b>Consistencia</b>	<b>Asentamiento (mm)</b>	<b>Ejemplo tipo de construcción</b>	<b>Sistema de colocación</b>	<b>Sistema de compactación</b>
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibraciones de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi-seca	35-50	Pavimentos fundaciones en concreto simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas	Colocación manual	Secciones mediamente reforzadas, sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos “in situ”	Tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas sin vibración (No adecuados para vibrarse)

