



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Ingeniería Civil

“Influencia del curado del hormigón acelerado con temperatura para su
resistencia final a la compresión”

Trabajo previo a la obtención del grado académico de Ingeniero Civil con
mención en Gerencia de Construcciones

Autor:

Dennise Andrea Quezada Peña

Director:

Ing. Vladimir Eugenio Carrasco

Cuenca - Ecuador

2024

Dedicatoria

A mis padres Klever y Lorena por siempre apoyarme, motivarme a cumplir mis sueños y nunca rendirme, siendo mi mayor soporte en los momentos difíciles y los primeros en alegrarse en los buenos.

Para mis hermanos Valentina y David, mi segunda mamá Cecilia, mis hermanos de otra madre Anahí y Bryam, mis abuelos y tíos quienes todo el tiempo me dieron palabras de ánimo para no botar la toalla, aportando su granito de arena enseñándome muchos valores y los sacrificios que debemos hacer cuando algo vale realmente la pena.

Por último, para Ana Paula y las personas que he conocido a lo largo de este camino dentro y fuera de la universidad, los cuales siempre creyeron en mi sin importar el obstáculo que se impusiera.

Agradecimiento

A mi familia y amigos en general, quienes fueron los que más apoyo y confianza me brindaron a lo largo de mi carrera universitaria.

A todos los docentes de la universidad, con una mención importante al Ing. Vladimir Carrasco, no solo por compartirme su conocimiento, si no por apersonarse de este trabajo brindándome su guía y todas las facilidades necesarias para sacarlo adelante.

Resumen

En el presente trabajo de investigación se analiza cómo el hormigón responde cuando es sometido a altas temperaturas durante su periodo de fraguado y como este fenómeno influye en sus propiedades, sobre todo en su resistencia estructural final. Para esta investigación se confeccionaron 16 muestras de hormigón, todos con la misma dosificación y materiales, de los cuales para su curado 8 fueron expuestos a una temperatura de 32 grados centígrados y los 8 restantes a temperatura ambiente de la ciudad de Cuenca. Seguido de eso se llevaron a cabo los ensayos a compresión verificando su resistencia a los tiempos de 8 horas, 10 horas y 28 días, arrojando resultados positivos sobre el incremento de la resistencia a edades tempranas en tiempos limitados con respecto a las muestras curadas a temperatura ambiente, cumpliendo el objetivo principal de optimizar los tiempos de fraguado en comparación con el método tradicional.

Palabras clave: hormigón, temperatura, fraguado, resistencia, ambiente

Ing. Vladimir Eugenio Carrasco

Abstract

This research analyzes how concrete responds to high temperatures during its curing period and how this phenomenon influences its properties, particularly its final structural strength. For this research, 16 concrete samples with identical dosages and materials were prepared; eight were cured at 32 degrees Celsius, while the other eight were cured at the ambient temperature of the city of Cuenca. After that, compression tests were conducted at 8 hours, 10 hours, and 28 days to assess resistance. The results showed an increase in early-age resistance for samples cured at a higher temperature than those cured at ambient temperature. The primary objective of optimizing the curing times compared to the traditional method was achieved.

Keywords: concrete, temperature, curing, strength, room temperature

Ing. Vladimir Eugenio Carrasco

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	iv
Abstract.....	v
Tabla de contenido.....	vi
Índice de figuras	ix
Índice de tablas	x
Índice de ecuaciones.....	xi
Introducción.....	1
Objetivos.....	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos	2
Metodología.....	3
Capítulo 1: Marco Teórico.....	4
1.1 Que es el hormigón	4
1.2 Propiedades mecánicas del hormigón.....	4
1.2.1 Resistencia a la compresión.....	4
1.2.2 Resistencia a la tracción.....	5
1.2.3 Módulo de elasticidad.....	5
1.2.4 Ductilidad.....	5
1.2.5 Resistencia al corte	6
1.2.6 Flujo Plástico	6

1.3	Otras propiedades del hormigón	6
1.3.1	Trabajabilidad	7
1.3.2	Homogeneidad y uniformidad	7
1.3.3	Consistencia	8
1.3.4	Estabilidad	8
	Segregación	8
	Exudación	9
1.3.5	Compactibilidad.....	9
1.3.6	Tiempo de fraguado	10
1.4	Materiales constituyentes del hormigón	11
1.4.1	Cemento	11
1.4.2	Agregados	12
	Agregado fino.....	12
	Agregado grueso.....	13
1.4.2.1	Propiedades físicas de los agregados	13
	Dureza.....	13
	Densidad	13
	Porosidad	13
	Peso unitario	14
	Porcentaje de vacíos	14
	Abrasión	14
	Humedad.....	15

Análisis granulométrico.....	16
Módulo de finura	16
1.4.3 Agua.....	17
1.4.4 Aire	17
1.4.5 Aditivos.....	17
Capítulo 2: Materiales para la mezcla del hormigón.....	20
2.1 Cemento.....	20
.....	20
2.2 Agua.....	20
2.3 Áridos	21
2.3.1 Ensayo granulométrico del árido grueso	21
2.3.2. Ensayo granulométrico del árido fino	22
2.4 Aditivo	23
Capítulo 3: Diseño de la mezcla y dosificación	25
3.1 Diseño de la mezcla.....	25
3.1.1 Información de los materiales.....	25
3.2 Dosificación por el método del ACI.....	26
3.2.1 Asentamiento	26
3.2.2 Estimación del contenido de agua y aire	27
3.2.3 Valor promedio de resistencia de diseño	27
3.2.4 Relación agua cemento.....	27

3.2.5 Contenido de cemento	28
3.2.6 Determinación de contenido de agregado grueso.....	29
3.2.7 Estimación de contenido de agregado fino.....	30
3.2.8 Corrección de agregados por humedad	30
3.2.9 Dosificación propuesta	31
Capítulo 4: Elaboración de las muestras de hormigón	33
4.1 Elaboración de las muestras de hormigón	33
4.2 Procedimiento para el curado a temperatura	34
4.3 Tabulación de datos de las pruebas de resistencia a la compresión de las muestras de hormigón.....	37
4.4 Comparación de resultados entre las muestras curadas a temperatura y las que fueron curadas a temperatura ambiente	41
4.5 Muestras curadas a 32°C y temperatura ambiente a las 8 horas y 10 horas	44
Conclusiones.....	45
Recomendaciones	46
Referencias	47

Índice de figuras

Figura 1. Cemento a usarse en el proyecto	20
Figura 2. Agregado grueso a usarse en el proyecto	22
Figura 3. Árido fino a usarse en el proyecto.....	23
Figura 4. Elaboración de moldes para verter la mezcla.....	33

Figura 5. Vaciado de la mezcla en moldes.....	33
Figura 6. Termotanque de agua	34
Figura 7. Manguera enroscada en los cilindros	34
Figura 8. Temperatura de curado de muestras	35
Figura 9. Muestras cubiertas por contenedor de agua	35
Figura 10. Muestras curadas a temperatura ambiente	36
Figura 11. Desencofrado de las muestras	36
Figura 12. Comparación de la resistencia de diseño en porcentaje entre curado a temperatura de 32°C y curado a temperatura ambiente.....	42
Figura 13. Gráfico comparativo de las resistencias obtenidas en los diferentes tiempos	43

Índice de tablas

Tabla 1. Consistencia del concreto según su asentamiento	8
Tabla 2. Tamices estándar según la norma ASTM	16
Tabla 3. Pesos específicos de los materiales.....	25
Tabla 4. Determinación del asentamiento por el ACI.....	26
Tabla 5. Estimación de contenido de agua y aire según el ACI.....	27
Tabla 6. Determinación Agua-Cemento	28
Tabla 7. Determinación de agregado grueso	29
Tabla 8. Volúmenes para un metro cubico de hormigón	30
Tabla 9. Dosificación en peso.....	31
Tabla 10. Dosificación en función de las necesidades del ensayo.....	32
Tabla 11. Valores del factor de la esbeltez.....	37
Tabla 12. Corrección por esbeltez grupo 1 de ensayo	38

Tabla 13. Resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión a las 8 horas	38
Tabla 14. Corrección por esbeltez grupo 2 de ensayo	39
Tabla 15. Resultados obtenidos de pruebas de resistencia a la compresión a las 10 horas	39
Tabla 16. Corrección por esbeltez grupo 3 de ensayo	40
Tabla 17. Resultados obtenidos de pruebas de resistencia a la compresión a los 28 días a 32°C.....	40
Tabla 18. Resultados obtenidos de pruebas de resistencia a la compresión a los 28 días a temperatura ambiente	41
Tabla 19. Porcentaje de resistencia de diseño con temperatura de 32°C.....	41
Tabla 20. Porcentaje de resistencia de diseño con temperatura ambiente	42
Tabla 21. Comparación a las 8 horas entre curado a temperatura y ambiente ...	44
Tabla 22. Comparación a las 10 horas entre curado a temperatura y ambiente .	44

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Porcentaje de vacíos	14
Ecuación 2. Porcentaje de abrasión	15
Ecuación 3. Porcentaje de humedad	15
Ecuación 4. Módulo de finura	17
Ecuación 5. Contenido de cemento	28
Ecuación 6. Agregado grueso	30
Ecuación 7. Corrección por humedad.....	30
Ecuación 8. Volumen del cilindro.....	31

Introducción

El concreto actualmente es el material más utilizado en el mundo de la construcción, por su resistencia, factibilidad de construcción, impermeabilidad y duración. Producido y diseñado para normas ya establecidas en un proyecto determinado, pero generalmente el concreto es una mezcla homogénea compuesta de cemento, agua, agregados, aire presionado y en algunos casos aditivos, cada uno con un porcentaje adecuado en la mezcla para obtener las propiedades deseadas que este material adquiere, como son: la durabilidad; para que este mantenga su forma original, la trabajabilidad; que sea manejable en todas sus etapas, y resistencia; una resistencia a la compresión buena (Gutiérrez de Lopez, 2003).

El hormigón es un material de construcción tan antiguo que no se conoce la fecha exacta de su creación, sin embargo, hoy en día es indispensable en cualquier obra civil y así lo ha sido desde las épocas de imperio romano que era conocido como un material muy sofisticado, fue utilizado para construcciones históricas como El Pateon ubicado en Roma, que su construcción duró aproximadamente 7 años, algo que siempre ha sido un gran impedimento al momento de construir, el tiempo. Actualmente los avances científicos y tecnológicos han permitido una mejora continua a lo largo de estos años, como puede ser el progreso que ha tenido el material en sus características fisicoquímicas generando que se hable de hormigones inteligentes, auto limpiantes, entre otros, algo que años atrás sonaría imposible (Romea, 2014).

Como las investigaciones de los últimos años se inclinaron un poco acerca del desarrollo de nuevos tipos de hormigones, con los cuales se han alcanzado objetivos muy ambiciosos encontrando nuevos materiales compuestos y dando al mundo de la construcción una visión de un futuro muy prometedor, sin embargo, en todos estos casos hay que tomar en cuenta un factor muy importante para su ejecución como es el curado. Este tiene una gran influencia en las propiedades del hormigón endurecido, es decir, es necesario un buen curado para tener un hormigón de buena calidad (Garín, L., Santilli, A., & Pedoja, E., 2012). Por otra parte, un aspecto fundamental que va de la mano con un curado de calidad, es lo que se conoce comúnmente como dosificación o diseño racional de mezcla de hormigón, consiste en lograr combinar las proporciones adecuadas de árido-cemento-agua en la mezcla, lo que ayuda a que el producto final sea más duradero después de que la fase de fraguado se haya completado (la Mancha, 2008).

Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar un estudio acerca de la influencia del incremento de temperatura en el curado de muestras de concreto en su resistencia final.

Objetivos Específicos

- Determinar la temperatura de curado necesaria a cada grupo de muestras designadas para un tiempo de curado de 8 horas, 10 horas y 28 días.
- Ejecutar 16 muestras de cilindros cemento tipo HE para someterlos al tiempo y temperatura de curado establecidos.
- Realizar pruebas de resistencia a la compresión en laboratorio luego de 8 horas, 10 horas y 28 días de curado, determinar su comportamiento y la influencia de la temperatura en el curado de los mismos.

Metodología

Para la metodología de este trabajo experimental, primero determinamos la temperatura a la que serán sometidos las muestras de hormigón. Una vez establecido los parámetros previos a las pruebas físicas, se procederá a la realización del número de muestras previamente expuesto en los objetivos específicos.

Se utilizará un tubo PVC de desagüe, con 10 cm de diámetro y 15 cm de altura. Se utilizará un tipo de cemento HE que generalmente es diseñado para una mayor resistencia a la compresión después de 24 horas.

En un principio se ha planificado realizar dos grupos de ensayos con ocho muestras cada uno, en el primer grupo de ensayos las primeras 4 muestras serán curadas a una temperatura que se estableció previamente, 2 deberán romperse a las 8 horas, las otras 2 muestras a los 28 días igual que la forma tradicional, las siguientes 4 muestras estas serán curadas a temperatura ambiente, procederemos con la rotura de 2 muestras a las 8 horas y las dos faltantes igualmente por 28 días para continuar con su rotura. De la misma manera para el segundo grupo de ensayos de 8 muestras, únicamente cambiando el tiempo de rotura a 10 horas en lugar de a las 8 horas. Luego comprobaremos su resistencia a la compresión por la norma ASTM C39 y se comparan los resultados a sus diferentes temperaturas.

Capítulo 1: Marco Teórico

1.1 Que es el hormigón

El hormigón o también conocido como concreto, es una piedra artificial de determinada resistencia a la compresión, siendo este el resultado de la mezcla entre el conglomerante; en este caso el cemento, los agregados finos y gruesos (arena y grava) que cumplen la función de ser el material de relleno, agua que es la encargada de crear una masa homogénea similar a una pasta, finalmente se añaden aditivos para modificar ciertas propiedades del material, este último siempre de manera opcional (Guevara, y otros, 2012, págs, 80-86). Se deben mezclar los porcentajes adecuados de estos cuatro componentes para obtener un material de buena calidad y con las propiedades deseadas que el hormigón adquiere, como son; durabilidad, trabajabilidad y la más importante que es la resistencia.

1.2 Propiedades mecánicas del hormigón

El hormigón al ser un material de construcción, tiene algunas propiedades mecánicas importantes que deben ser descritas. Algunas de estas propiedades son:

1.2.1 Resistencia a la compresión

Al ser un material diseñado específicamente para la construcción, esta se convierte en la característica mecánica más importante, en donde el desempeño del hormigón se pone a prueba para poder juzgar su calidad. Existen varias pruebas que nos ayudan a determinar el comportamiento final del hormigón, una de ellas es elaborando cilindros testigos estándar de un diámetro y una altura según nos indique la norma a la que queremos regirnos, llenándolos con la mezcla que se va a utilizar, comúnmente luego de 28 días se someten a cargas de compresión hasta que se produce la rotura. Se pueden realizar todas las pruebas necesarias para poder examinar cómo varían su resistencia al igual que sus propiedades.

1.2.2 Resistencia a la tracción

Según Keith A. Smith (2000) es considerada como la tensión o fuerzas que es sometido el material las cuales intentan alargarlo o separarlo, es de poco y casi nulo interés en la ingeniería civil, ya que los suelos siempre estarán bajo cargas de compresión y casi nunca de tracción, sin embargo, para elementos estructurales es diferente. La resistencia a la tracción se puede probar de dos maneras diferentes; por el método brasileño o también por el método de tracción indirecta que es el cual se utiliza generalmente. Se denomina método de tracción indirecta ya que la tensión no se aplica de manera directa, de lo contrario, se aplica a lo largo del diámetro del cilindro una fuerza ya no de tensión sino de compresión.

1.2.3 Módulo de elasticidad

También conocido como módulo de deformación longitudinal o módulo de Young, es un valor muy importante para el diseño estructural que mide la rigidez del material y su capacidad para deformarse cuando es sometido a cargas. Esta propiedad no es constante ya que depende de varios factores externos que pueden llegar a modificarlo como son; el tipo de agregado, el tipo de dosificación que se utilizó, el contenido de aire que tenga la muestra, la velocidad de aplicación de la carga y que tan húmeda se encuentra la muestra al momento de hacer el ensayo (Gutiérrez de López, 2003, 55). Para calcular el módulo de elasticidad el ACI establece que se debe usar como dato la resistencia a la compresión del hormigón realizadas en probetas estándar de dimensiones de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, estas serán sometidos a cargas axiales que irán incrementando continuamente hasta que el cilindro llegue a fallar, el valor será mayor siempre y cuando la resistencia del hormigón sea mayor (Sánchez et al., 2020).

1.2.4 Ductilidad

Es la propiedad que obtienen los materiales al momento de medir su capacidad de deformarse justo antes de fallar al ser sometido a esfuerzos así sean mínimos, nulos y aun así su carga disminuya. La ductilidad del hormigón siempre irá en un descenso considerable cuando la resistencia a la rotura sea mayor, por esta razón este valor se obtiene del cociente entre la deformación unitaria de rotura ϵ_u y la deformación unitaria elástica máxima ϵ_e . La ductilidad no solo hace referencia al alargamiento a la rotura, es

más, también es la capacidad del hormigón para deformarse de manera sostenible (Romo Proaño, 2008).

1.2.5 Resistencia al corte

Se describe como un esfuerzo cortante al momento que un objeto o en este caso un testigo al que se le aplican dos fuerzas iguales en sentido contrario y perpendiculares a su eje longitudinal con una pequeña distancia de separación, esta distancia de separación así sea muy pequeña hace que el material esté experimentando un esfuerzo de cortante, lo que tiende a cortarla transversalmente. Como dice Marcelo Romo Proaño (2008), ya que las fuerzas cortantes se convierten en tracciones diagonales, la resistencia al corte del hormigón tiene un comportamiento similar a la resistencia a la tracción. La resistencia del concreto al corte es bastante alta, puede variar entre el 35% al 80% de su resistencia a la compresión.

1.2.6 Flujo Plástico

Es la propiedad que obtiene el hormigón cuando es sometido a cargas de larga duración, este tiene dos deformaciones; una deformación instantánea al momento inicial de la carga y otra deformación a largo plazo como producto del flujo plástico del hormigón que dependen de la resistencia que este tenga, siendo mayor cuando se utilizan hormigones de menor resistencia. El fenómeno del flujo plástico se produce debido a que las partículas de agua que no alcanzan a mezclarse con el cemento comienzan a migrar y por las altas presiones se mueven por las microporosidades del hormigón (Romo Proaño, 2008).

1.3 Otras propiedades del hormigón

Existen otras propiedades que presenta el hormigón, esta vez enfocado en su estado fresco o también conocido como estado plástico, este estado persiste en todo su periodo de transporte e instalación y puede manipularse fácilmente. El hormigón es una masa heterogénea sólida, líquida y gaseosa, que se distribuyen en proporciones iguales si es realizada con una buena mezcla. (Salinas et al., 2023) Las principales propiedades del hormigón fresco son:

1.3.1 Trabajabilidad

Un hormigón se considera trabajable al momento que la mezcla puede adaptarse de manera fácil y rápida a cualquier tipo o forma de encofrado, es decir, es la propiedad del concreto recién mezclado el cual determina la facilidad y homogeneidad con el que puede ser transportado, mezclado, colocado, compactado y acabado. Jhonatan Mayta Rojas (2014) explica que, la ciencia que estudia el flujo y desplazamiento de los materiales, conocida como la reología, establece los siguientes conceptos para conocer con más precisión el comportamiento del hormigón en estado fresco y por consiguiente su trabajabilidad.

La trabajabilidad se mide cuantitativamente mediante el Asentamiento del Cono de Abrams; mientras su asentamiento es mayor o el diámetro de dispersión es mayor, el hormigón se considera más trabajable. Los asentamientos menores a 2" (5 cm) entran en el grupo de hormigones poco trabajables, asentamientos entre 3" (7,5 cm) y 5" (12,5 cm) en el grupo de medianamente trabajables, mientras que asentamientos superiores a 6" (15 cm) son considerados hormigones muy trabajables (Romo Proaño, 2008).

1.3.2 Homogeneidad y uniformidad

La uniformidad como esta mismo lo indica, es la condición que adquiere el hormigón en la que todos sus componentes se reparten de forma idéntica por toda la mezcla, de manera que si se toman muestras en cualquier parte de la mezcla estas serían prácticamente iguales. Para conseguir esta propiedad es necesario un amasado apropiado de la mano con un transporte y colocación adecuado (Salinas et al., 2023).

Mayta (2014) advierte que es posible considerar la homogeneidad del concreto fresco desde dos puntos de vista:

- Homogeneidad de mezclado: esta depende de al momento de mezclar, de qué forma esta se realiza, la secuencia en la que los ingredientes son administrados, las características del equipo que va a proceder a realizar la mezcla y el tiempo que se demora.
- Homogeneidad de producción: Hace referencia a la uniformidad del concreto y su eficacia en el proceso de producción, esto incluye su calibración rutinaria y su control de calidad.

1.3.3 Consistencia

La propiedad del concreto en una fase mixta para resistir la deformación bajo su propio peso. El concreto puede alcanzar diferentes grados de movilidad en relación a las condiciones de humedad a las que esté expuesto, dando a entender que cuanto mayor sea la humedad de la mezcla, mayor será su capacidad de fluir durante su colocación (Mayta Rojas, 2014).

Según el ACI (American Concrete Institute) (Tabla 1) clasifica al concreto en 5 tipos de consistencia gracias al asentamiento de la mezcla fresca, se determina utilizando el método de cono de Abrams.

Tabla 1. Consistencia del concreto según su asentamiento

Consistencia	Asentamiento (cm)
Seca	0-2.5
Plástica	2.5-7.5
Blanda	7.5-12.5
Fluida	12.5-19
Líquida	>19.0

Fuente: ACI 309

1.3.4 Estabilidad

Es el desplazamiento que se produce en el concreto sin que se apliquen fuerzas externas. Se cuantifica por medio de la exudación y la segregación, evaluadas con métodos estándar que permiten comparar dichas características entre varios diseños, siendo obvio que se debe buscar obtener los valores mínimos, dicho con otras palabras, para que un concreto sea trabajable en su estado fresco, no debe presentar segregación ni exudación excesiva que son los que originan las fisuras (Mayta Rojas, 2014).

Segregación

F. Benito y otros (2015) explica que, la segregación es definida como la separación o repartición no homogénea de los componentes del hormigón. La distribución uniforme

de la pasta de cemento y los áridos es un apartado fundamental, ya que al final tiene consecuencias tanto en sus propiedades mecánicas como en la durabilidad.

La distribución de los componentes se puede dar por algunas razones; la primera por la separación de áridos finos y gruesos, debido a que estos se acumulan en el fondo de la mezcla, y la segunda debido al exceso de humedad, esta hace que la pasta de cemento y los áridos se separen. Este fenómeno en el concreto puede ser causado por un manejo inadecuado, una colocación incorrecta, una mala mezcla y una vibración excesiva (Salinas et al., 2023).

Exudación

La exudación es un efecto en el que una parte del agua de la mezcla del concreto recién colocado se separa y tiende a elevarse hacia la superficie, creando una capa de agua arriba de la mezcla. Esto se da como resultado de que los ingredientes sólidos de la mezcla no son capaces de retener toda el agua cuando se asienta en el proceso de fraguado (Rosas & Valer, 2021).

Es un caso típico que se conoce como sedimentación, en donde dentro de la masa plástica, los sólidos se comienzan a asentar. La cantidad de áridos finos y la finura del cemento tienen bastante influencia en esta, ya que mientras más fina es la molienda de los áridos, mayor es el porcentaje de material menor que la malla No 100, de esta manera la exudación será menor pues el agua de la mezcla queda retenida (Pasquel, 1998). Algunas causas de la exudación pueden ser influenciadas por proporciones de la mezcla, propiedades y características de los materiales, contenido de aire y uso de aditivos convencionales (Hernández, I. J. 2010, como se citó en Rosas & Valer, 2021).

1.3.5 Compactibilidad

Es la facilidad con que el concreto fresco es compactado o golpeado para reducir el volumen de vacíos, es decir el aire atrapado en la mezcla, va muy de la mano con la densidad ya que depende de los mismo factores que ésta, sobre todo del método de consolidación, estos métodos comúnmente tienen por objeto introducir, en un volumen determinado, la mayor cantidad posible de áridos y, al mismo tiempo, que los huecos

dejados por éstos se rellenen con la pasta de cemento, eliminando por completo las burbujas de aire (Mayta Rojas, 2014).

Se pueden encontrar varios tipos de métodos para encontrar el famoso “Factor de compactación” el cual puede estimar la cantidad de trabajo que se necesita para llegar a la compactación total consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, dividido entre la densidad del concreto compactado (Pasquel, 1998).

1.3.6 Tiempo de fraguado

Puede definirse como tiempo de fraguado de una mezcla determinada, el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido, es decir el fraguado no es sino una parte del proceso de endurecimiento. Al momento en que el cemento y el agua entran en contacto se produce una reacción química exotérmica dentro de la mezcla la cual hace que el hormigón se vaya endureciendo paulatinamente. Dentro de este proceso existe un momento en el que el hormigón pierde notablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar, este estado es conocido como fraguado inicial de la mezcla. A la vez que este proceso avanza el estado de la mezcla llega a un punto en donde su consistencia se ha endurecido completamente, este estado se denomina fraguado final (Rodríguez, 2011).

La velocidad con la que el hormigón puede llegar a su fase de endurecimiento o cristalización es debido a la cantidad de cemento que se añade y va vinculada a la relación agua-cemento, la proporción de los diferentes componentes, la temperatura de ambiente y los aditivos que se utilizan en la fabricación del concreto (Arteaga, 2023). Romo Proaño (2008) explica que, tomando en cuenta que toda construcción tiene sus propias necesidades ya sean de acelerar el fraguado del hormigón como por ejemplo para la construcción de túneles, como también un hormigón de fraguado lento en la construcción de presas, se utilizan cementos muy especiales o también aparece opción de utilizar aditivos retardantes y acelerantes.

1.4 Materiales constituyentes del hormigón

1.4.1 Cemento

El cemento portland es un conglomerante con la capacidad de unir otros materiales entre sí como arena, grava, para formar una masa sólida, es un material artificial que se obtiene a través de la variación de la materia prima compuesta principalmente por la mezcla de arcillas, calizas y otros minerales, este producto es finamente molido y llevado a un horno expuesto a altas temperaturas, donde se elabora un material intermedio denominado Clinker, a este se le adiciona un 5% de yeso y pasa nuevamente por el mismo proceso dando lugar finalmente a lo que se conoce como cemento. También se pueden añadir otros productos para modificar sus propiedades que estén dentro de la norma siempre y cuando no excedan el 1% de su peso final (Rosas & Valer, 2021).

La norma ASTM C-150 destaca que existen varios tipos de cemento Portland fabricados con propiedades específicas, citando a Rosas y Valer (2021) entre los más importantes se encuentran:

- **Tipo I:** De normal fraguado, es el que se utiliza generalmente en obras de pavimento, aceras, edificios de concreto reforzado, puentes, alcantarillas, tuberías para agua y otros, es decir, en donde no se le exige que tenga sus propiedades alteradas ya que no está expuesto a el ataque de factores especiales como variaciones de temperatura, los sulfatos del suelo y agua, etc.
- **Tipo II:** Sus propiedades son modificadas, en este caso es utilizado cuando se desea una moderada resistencia a la acción de los sulfatos y un bajo calor de hidratación. Especialmente utilizados en presencia de ambientes agresivos y/o vaciados masivos. Al momento de ser empleado se disminuye al mínimo la elevación de temperatura, lo que es sumamente importante en climas cálidos.
- **Tipo III:** De fraguado rápido, este tipo de cemento es empleado cuando se requiere una alta resistencia inicial en un corto periodo de fraguado y producir un elevado calor de hidratación en casos en

los que se necesita un desencofrado rápido, adelantar la puesta en servicio de las estructuras, o para uso en climas fríos y disminuir su periodo de curado.

- **Tipo IV:** De fraguado lento, se utiliza cuando se necesita bajo calor de hidratación. Tiene propiedades ideales para ser utilizado en estructuras de concreto de gran masa como presas de gravedad.
- **Tipo V:** Resistente a los sulfatos, recomendable para ambientes muy agresivos ya que evita el ataque de estos desde el exterior de concreto, sin embargo, este tipo de cemento al igual que los anteriores, no soporta la exposición a ácidos o sustancias corrosivas.

1.4.2 Agregados

El agregado se denomina como un material inerte debido a que sus componentes actúan de una manera indirecta con los demás que constituyen la pasta de cemento y no generan ninguna reacción química durante su preparación, es el conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial. No tiene gran influencia en la resistencia final del concreto, pero sí en su producto final. Los agregados ocupan aproximadamente entre el 70-80% del volumen del hormigón, por lo que es muy probable que las características de estos influyan en sus propiedades (García, 20180).

De acuerdo al tamaño de sus partículas, los agregados pueden clasificarse en agregados finos y agregados gruesos.

Agregado fino.

También conocido como arena o áridos provenientes de la desintegración natural. La norma NTE INEN 696:2011 define como agregado fino a las partículas que pasan fácilmente por el tamiz de 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ "") y queda retenido en el tamiz No 200 (Ponce, 2014).

Agregado grueso.

El agregado grueso o también conocido como grava, es el material que proviene de la desintegración natural o artificial de la roca, el cual es retenido en el tamiz No 4 (4.75 mm) según la norma NTE INEN 872, equivalente a la norma ASTM C33 (Ponce, 2014).

1.4.2.1 Propiedades físicas de los agregados

Dureza

Se entiende por dureza a la resistencia de los áridos (agregados) ante la abrasión y erosión. Se conoce que los mejores agregados en cuanto a resistencia son los cuarzos, rocas de origen volcánico. La norma ASTM C131 nos indica que el mejor método para calcular la resistencia de los áridos es someter a la roca a un desgaste por abrasión o rozamiento (García, 2018).

Densidad

Se refiere a la masa de los materiales de construcción por unidad de volumen. Esta propiedad depende mucho de la gravedad de sus componentes ya que, en varios casos es necesario conocer su densidad para optar por concretos con un peso menor al de los concretos que se utilizan comúnmente (García, 2018).

Porosidad

Es el volumen de los espacios que se encuentran dentro de las partículas de los agregados, es considerada una de las propiedades más importantes de los agregados debido a que es representativa de la estructura interna de las partículas. Para la ASTM no existe un método estándar para su evaluación, sin embargo, existen varias formas para determinarla, pero estas son complejas y sus resultados son relativos. Los valores comunes en agregados normales pueden variar entre 0 y 15% pero generalmente el rango común es del 1 al 5% (Mayta Rojas, 2014).

Peso unitario

Para Aliaga (2018), el peso unitario es la masa del material a utilizarse que se necesita para llenar un recipiente de volumen unitario. En esta propiedad se tiene en cuenta tanto el volumen de las partículas del agregado como los vacíos que se forman entre partículas.

Este valor es el cociente entre el peso de las partículas y el volumen total incluyendo los vacíos, la norma ASTM C 29 define un método estándar para su evaluación, que consiste en un acomodo de sus partículas luego de que sean compactadas en un molde metálico golpeándolas 25 veces con una varilla de 5/8" en 3 capas, este valor que se obtiene se usa comúnmente en diseños de mezclas de hormigón y también para dosificaciones de volumen. El valor del peso unitario para agregados normales varía entre 1,500 y 1,700 kg/m³ (Rosas & Valer, 2021).

Porcentaje de vacíos

Hace referencia a la medida del volumen de los espacios vacíos entre partículas de los agregados, pero expresado en porcentajes. Su valor es relativo porque depende de cómo se acomodan sus partículas (Rosas & Valer, 2021). La misma norma ASTM C 29 establece la siguiente fórmula para calcularlo:

$$\%de\ Vacíos = 100 \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right]$$

Ecuación 1. Porcentaje de vacíos

Donde:

S = Peso específico de masa, en gr/cm³.

W = Densidad del agua, en kg/m³.

M = Peso unitario seco, en kg/m³.

Abrasión

Ponce (2014) describe a la abrasión como la propiedad que tienen los agregados de incluir agua a su estructura interna y como consecuencia a esto se presenta un aumento de peso, este fenómeno se da debido a la capilaridad ya que siempre queda aire atrapado y no llegan a cubrirse todos los poros indicados. Es de gran importancia debido a que este se manifiesta en el concreto reduciendo el agua de la mezcla, lo que influye en sus propiedades resistentes.

La norma ASTM C-127 y 128 establecen la siguiente fórmula para su determinación:

$$\%de\ Abrasi3n = \frac{Peso\ S.S.S - Peso\ Seco}{Peso\ Seco} \times 100$$

Ecuaci3n 2. Porcentaje de abrasi3n

Donde:

P S.S.S = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca, en gr.

Peso seco = Peso seco de la muestra, en gr.

Humedad

El contenido de humedad de los agregados se da ya que estos tienen poros internos que son accesibles al agua o a la humedad del exterior. Esta propiedad es definida por la relaci3n del peso del agua que contiene el agregado y el peso seco del agregado s3lido. Generalmente el agua almacenada en los agregados suele evaporarse, pero una vez es mezclada con otro mineral se vuelve vulnerable a la evaporaci3n (García, 2018).

La norma ASTM C-566 expresa la humedad de la siguiente manera:

$$\%de\ humedad = \frac{Peso\ original\ de\ la\ muestra(gr) - Peso\ Seco(gr)}{Peso\ Seco(gr)} \times 100$$

Ecuaci3n 3. Porcentaje de humedad

Las condiciones de la humedad de los agregados se dividen en:

- **Secado al horno:** Consiste en someter a el agregado a una temperatura elevada para extraer toda el agua que est3 en sus part3culas.
- **Secado al aire:** Cuando el agregado es expuesto al aire pierde cierta cantidad de agua en la superficie, pero en la parte interior o en el fondo todav3a contiene agua.
- **Saturado con superficie seca (S.S.S):** Cuando no existe porcentaje de agua en las part3culas del agregado, es decir, el material est3 completamente seco.

Análisis granulométrico

Los agregados ya que se obtienen de manera natural sus partículas son de forma irregularmente geométricas por lo que nunca van a tener las mismas dimensiones. Por lo que es imposible conocer el volumen de cada tamaño de partículas se usa una manera indirecta la cual se basa en tamizar a el agregado en una serie de mallas de aberturas conocidas y pesar el material retenido en cada uno de ellos expresándose en porcentajes con respecto al peso total. Se le conoce como análisis granulométrico o granulometría al procedimiento de dividir las partículas del agregado en partes de igual tamaño, siendo esta su representación numérica y se expresan gráficamente en un sistema coordinado que nos permite apreciar de mejor manera su distribución (Rosas & Valer, 2021).

En la siguiente Tabla 2 podemos apreciar la serie de tamices estándar según la norma ASTM C-33.

Tabla 2. Tamices estándar según la norma ASTM

Número de Tamiz	Abertura de la malla (mm)
3	75
1 ½	37.5
¾	19
⅜	9.5
Nº4	4.75
Nº8	2.36
Nº16	1.18
Nº30	0.59
Nº50	0.297
Nº100	0.1475
Nº200	0.0737

Fuente: Elaboración propia, adaptado de: Pasquel, E. Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú (1998).

Módulo de finura

El módulo de finura es un indicador aproximado del tamaño medio de las partículas del agregado, esto quiere decir que cuando el resultado del módulo de finura es bajo, el

agregado es fino y cuanto mayor sea este, el agregado será cada vez más grueso (Rosas & Valer, 2021).

El módulo de finura se calcula con la siguiente fórmula:

$$M. de finura = \frac{\Sigma [\% acumulado retenido de serie de tamices hasta el N^{\circ}100]}{100}$$

Ecuación 4. Módulo de finura

1.4.3 Agua

El agua es un componente principal en la mezcla del hormigón, ya que actúa como hidratante en sus componentes activos y como un lubricante para que este tenga mayor trabajabilidad en su mezcla fresca. El tipo de agua que se utiliza para la elaboración del hormigón debe ser apta para el consumo humano, es decir esta debe estar libre de aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas debido que unos de los problemas principales en el agua de mezcla es que esta contenga impurezas que provocan reacciones químicas que alteren el comportamiento normal de la pasta de cemento (Gutiérrez de López, 2003).

1.4.4 Aire

El aire en el hormigón hace parte de los componentes de este, puede encontrarse como un elemento accidental conocido como aire atrapado o también como un elemento intencional que se conoce como aire incorporado. Toda mezcla de hormigón contiene cierta cantidad de aire, el cual no proporciona ninguna característica favorable sino de lo contrario, desmejora algunas de sus propiedades. La manera en la que el aire puede ser eliminado es gracias a una compactación eficiente, pudiendo reducir sus valores hasta el 1% del volumen (Arcos D'Hainaut, 1976).

1.4.5 Aditivos

Los aditivos son compuestos químicos que se añaden en pequeñas cantidades en la mezcla del hormigón para cambiar sus propiedades o modificarlas en su estado fresco o en su estado endurecido, según los requisitos o especificaciones que se pidan en obra. Debido a la gran variación de la calidad de cementos que tenemos en el país, para la

utilización de aditivos siempre deben ser comprobados previamente (Romo Proaño, 2008).

Romo Proaño (2008) explica que existen diferentes tipos de aditivos comúnmente utilizados, los cuales son:

- **Aditivos plastificantes:** Son unos de los más utilizados, permite que la trabajabilidad del hormigón en estado fresco mejore, también puede conseguir que la cantidad de agua en el amasado se reduzca mejorando así su resistencia.
- **Aditivos superplastificantes:** En el mercado también son conocidos como reductores de agua de alto rango, este aditivo tiene la propiedad de convertir un aditivo normal en uno fluido que no requiere vibración para llenar los espacios vacíos de los moldes incluso los de difícil acceso. También permiten la reducción de la relación agua-cemento hasta valores de 0.30 en donde se consiguen hormigones de mediana (entre 350 kg/cm² y 420 kg/cm²) y alta resistencia (mayor a 420 kg/cm²).
- **Aditivos acelerantes:** Permiten que los hormigones en su fase inicial produzcan más rápido su fraguado y endurecimiento. Son usados cuando se desea un desencofrado en menor tiempo del usual.
- **Aditivo de fraguado extra rápido:** Usados cuando se necesita un endurecimiento y fraguado en muy pocos minutos como es en elementos que tengan filtraciones de agua.
- **Aditivos retardantes:** Como su nombre lo dice, retardan el endurecimiento inicial del hormigón y mantiene por más tiempo su consistencia plástica. Usualmente usada en climas cálidos y para obras masivas que se requiere controlar la cantidad de calor emitida por el proceso del fraguado.

- **Aditivos introductores de aire:** Los que producen burbujas de aire dentro del hormigón, utilizado en estructuras que están sometidas a un congelamiento y descongelamiento periódico, tienen como efecto colateral la disminución de la resistencia en un 5% aproximadamente por cada 1% de burbuja de aire introducidas.
- **Aditivos impermeables:** Ayudan a sellar las porosidades que contiene el hormigón, muy útil en estructuras que van a ser diseñadas para contener líquidos como cisternas, tanques o hasta presas.
- **Aditivo espumante:** Hace que disminuya considerablemente la densidad del hormigón lo que le convierte en un material muy liviano similar a piedra pómez.

Capítulo 2: Materiales para la mezcla del hormigón

Antes de arrancar con el proceso de la dosificación del hormigón y diseño de la mezcla en la cual estableceremos las proporciones necesarias para conseguir nuestro objetivo principal sobre su resistencia y durabilidad, describiremos los materiales a utilizarse para la elaboración de la mezcla quienes darán lugar al material con el que trabajaremos.

2.1 Cemento

Para este trabajo investigativo se procederá a utilizar el cemento Holcim Premium Tipo HE el cual es fabricado principalmente para adquirir una alta resistencia iniciales, su excelente desempeño cumple con los estándares que impone la norma NTE INEN 2380 la cual es equivalente a la norma ASTM 1157. El Cemento Holcim Premium Tipo HE es un cemento hidráulico de desencofrado rápido, se los llama HE por sus siglas en inglés "high early-strength" (alta resistencia temprana) (HOLCIM, 2024).

Figura 1. Cemento a usarse en el proyecto



Fuente: Propia

2.2 Agua

Como vimos anteriormente, el agua es un componente importantísimo ya que sin él no habría reacción química y el cemento no desarrollaría sus propiedades resistentes y de durabilidad, el agua que se debe utilizar según el INEN debe ser de consumo humano y libre de impurezas, lo cual el agua de la Ciudad de Cuenca cumple con todos esos parámetros, teniendo presente siempre la cantidad correcta que se debe agregar según la dosificación ya que podríamos modificar su resistencia y durabilidad.

2.3 Áridos

En este trabajo de titulación los áridos que utilizaremos son provenientes de la empresa Vipesa Construcciones Cia. Ltda. la cual es la encargada de extraer varios minerales que luego son usados en el mundo de la construcción. En este caso los minerales que se usarán van a ser la grava para el árido grueso y la arena para el árido fino de la mezcla. Su casa matriz está ubicada en la Panamericana Norte Km 17 ½ de la ciudad de Azogues en la provincia de Cañar.

2.3.1 Ensayo granulométrico del árido grueso

Es importante realizar el ensayo granulométrico del árido grueso ya que nos ayuda a determinar la distribución de tamaños de las partículas de una muestra de agregado pétreo. En Cuenca, Ecuador se sigue el procedimiento estándar que cumple todas las normativas técnicas y los estándares de calidad que garantizan la conveniencia de los materiales de construcción. Los pasos para llevar a cabo este ensayo son:

1. Se prepara la muestra: Seleccionamos una muestra del árido grueso que se va a analizar, en este caso toda la muestra debe pasar por el tamiz 1" (25.4 mm), la muestra debe ser lo suficientemente grande para garantizar los resultados.
2. Secar la muestra: Si la muestra está húmeda, debe ser secada completamente antes de realizar el ensayo. El secado se realiza en un horno a una temperatura de 110°C por un tiempo de 24 horas para eliminar la humedad superficial que puede afectar los resultados del análisis.
3. Tamizado: Utilizamos una serie de tamices con aberturas graduadas en las mallas, colocados de forma ascendente en orden de tamaño de abertura, es decir, del más grueso al más fino. Vertemos la muestra de agregado sobre el tamiz superior y de forma manual hacemos que las partículas caigan y no se acumulen en un solo tamiz.
4. Pesado y cálculo de porcentaje: Después del tamizado inicial, se pesa cada fracción retenida en cada tamiz y se registra el dato. Una vez realizado esto, se calcula el porcentaje de la masa total que queda retenida en cada tamiz.

5. Curva granulométrica: Los resultados obtenidos se representa de manera grafica mediante la curva granulométrica, en donde el eje horizontal ubicamos los diámetros de las aberturas de los tamices y en el eje vertical los porcentajes retenidos.

Figura 2. Agregado grueso a usarse en el proyecto



Fuente: Propia

2.3.2. Ensayo granulométrico del árido fino

El ensayo granulométrico del árido fino es esencial para garantizar la calidad de los materiales utilizados en la construcción. Siguiendo estos pasos de manera rigurosa, los ingenieros civiles en Cuenca pueden asegurarse de que los áridos finos utilizados en sus proyectos cumplen con las especificaciones requeridas, contribuyendo así a la durabilidad y seguridad de las estructuras construidas. A continuación, se detalla el procedimiento paso a paso para realizar un ensayo granulométrico del árido fino, adaptado a la normativa y condiciones típicas de la ciudad de Cuenca, Ecuador.

1. Preparación de la muestra: Se obtiene una muestra representativa del árido fino a ser utilizado, generalmente alrededor de 500 gramos para áridos finos.
2. Secado de la muestra: Se necesita Secar la muestra en un horno a una temperatura de 105 ± 5 °C hasta alcanzar un peso constante. Este proceso puede tardar varias horas dependiendo del contenido de humedad inicial del árido.

3. Selección de tamices: Utilizamos un juego de tamices normalizado, para los áridos finos los tamices típicos tienen abertura de: 4.75 mm (No. 4), 2.36 mm (No. 8), 1.18 mm (No. 16), 0.60 mm (No. 30), 0.30 mm (No. 50), y 0.15 mm (No. 100), se pesa cada tamiz y se registra su peso.
4. Tamizado: Colocar los tamices en orden decreciente de tamaño de abertura, el tamiz más grande en la parte superior y en la parte inferior una bandeja receptora, se vierte la muestra en la parte superior. Como el tamizado es de manera manual, se agita cada tamiz de forma horizontal y se golpea ligeramente el borde para ayudar a que las partículas más finas pasen a través de las aberturas.
5. Pesaje y resultados: pesar el material retenido en cada tamiz y registrar los pesos. Se pesa también el material fino que ha pasado por el tamiz más pequeño (recogido en la bandeja receptora).
6. Porcentajes retenidos: Calculamos el porcentaje retenido del peso total en cada tamiz, $\% \text{ Retenido en cada tamiz} = (\text{Peso retenido} / \text{Peso total de la muestra}) \times 100$. Igualmente se obtienen los porcentajes retenidos acumulados sumando los porcentajes retenidos en los tamices superiores.
7. Curva granulométrica: Finalmente procedemos a expresar los resultados en un gráfico semilogarítmico, con las aberturas de los tamices en el eje horizontal (logarítmico) y los porcentajes acumulados que pasan en el eje vertical.

Figura 3. Árido fino a usarse en el proyecto



Fuente: Propia

2.4 Aditivo

El MasterGlenium 7971 es un aditivo superplastificante que se utiliza en la industria de la construcción, específicamente enfocado en el hormigón, es de alta

eficiencia ya que está basado en tecnología de policarboxilatos. Diseñado para mejorar las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido, su formulación permite una dispersión de las partículas de cemento, lo que resulta en un hormigón con gran fluidez y cohesión con una reducción significativa en la cantidad de agua de mezcla necesaria.

El aditivo reduce el agua requerida de la mezcla para mantener su trabajabilidad, lo que permite que las mezclas logren mayor resistencia y durabilidad. De igual manera, mejora su trabajabilidad al hormigón fresco, lo que hace que facilite su colocación y compactación. Aporta a un desarrollo rápido de la resistencia inicial del hormigón, permitiendo desencofrar y poner en servicio las estructuras de manera más rápida.

Es utilizado principalmente en hormigones de alta calidad para diferentes aplicaciones como pueden ser: elementos prefabricados de hormigón, estructuras de hormigón armado y pretensado, pavimentos de hormigón y hormigón autocompactante (HAC).

Capítulo 3: Diseño de la mezcla y dosificación

3.1 Diseño de la mezcla

3.1.1 Información de los materiales

Debido a que este trabajo investigativo es una continuación de trabajos de titulación ya presentados se optará por utilizar el diseño de mezcla de García & Ortiz (2021) por lo que se utilizará el hormigón de la misma fábrica como observamos en la Tabla 3.

Tabla 3. Pesos específicos de los materiales

Cemento		
P. Específico	3000	kg/m ³
Agregado Fino		
P. Específico Sat.	2640	kg/m ³
Módulo Finura	2.21	
% Humedad	4.68	%
% Absorción	0.7	%
Agregado Grueso		
P. Específico Seco	1600	kg/m ³
P. Específico Sat.	2680	kg/m ³
% Humedad	2	%
% Absorción	0.5	%
Agua		
P. Específico	1000	kg/m ³
Tamaño máx. Agregado		
T.M. A	3/4	pulg

Fuente: Propia, adaptación de: (García & Ortiz, 2021)

3.2 Dosificación por el método del ACI

3.2.1 Asentamiento

En el asentamiento requerido para el concreto de acuerdo con el método del ACI nos basaremos en la siguiente tabla que nos recomiendan diferentes asentamientos según el tipo de construcción.

Tabla 4. Determinación del asentamiento por el ACI

Compactación	Consistencia	Asentamiento (mm)	Fluidez (%)	Tipo de Construcción
Vibro compactación	Muy rígida	0-10	10-30	Prefabricados de alta resistencia
Alta vibración	Rígida	20-40	30-50	Pavimentos
Vibración normal	Plástica	50-90	50-70	Pavimentos fundaciones en concreto simple
Baja vibración	Fluida	100-150	70-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas
Sin vibración	Líquida	>150	>100	Elementos estructurales esbeltos

Fuente: ACI 211

Según la Tabla 4, seleccionamos un asentamiento de 12 cm que entra en el rango de 100-150 mm para el tipo de construcción de pavimentos compactados a mano, losas, muros y vigas.

3.2.2 Estimación del contenido de agua y aire

Tabla 5. Estimación de contenido de agua y aire según el ACI

Asentamiento	Tamaño máximo del agregado en pulgadas.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
25 - 50	205	200	185	180	160	155	145	125
75 - 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 - 155	260	230	210	205	185	180	170	
% aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Fuente: ACI 211

Utilizando los valores del asentamiento de 12 cm y el tamaño máximo del agregado que es de $\frac{3}{4}$ pulgadas, nos basamos en la Tabla 5, por lo que el valor de cantidad de agua para un metro cubico de hormigón redondeado debería ser de 190 kg de agua, por otro lado, el contenido de aire atrapado de la mezcla según nos indica la tabla para un agregado de $\frac{3}{4}$ pulgadas de tamaño es del 2%.

3.2.3 Valor promedio de resistencia de diseño

Para esta investigación se trabajó una resistencia promedio de diseño de:

$$f'_{cr} = 220 \text{ kg/cm}^2$$

3.2.4 Relación agua cemento

Para encontrar la relación agua/cemento es necesario utilizar la resistencia promedio de diseño la cual calculamos anteriormente y utilizar como referencia para la Tabla 6 que nos propone el ACI en la cual se determina los valores de relación agua-cemento en función de f'_{cr} y si la mezcla tiene aire incorporado o no.

Tabla 6. Determinación Agua-Cemento

Relación Agua-Cemento		
f'cr a los 28 días. (kg/cm2)	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
150	0.8	0.7
200	0.7	0.6
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	0.34
450	0.38	0.31

Fuente: Propia, recuperado de ACI 211

Como nuestra resistencia promedio de diseño nos dio un resultado de 220 kg/cm² para poder encontrar la relación agua cemento y viendo que en la tabla no se encuentra este valor es indispensable realizar una interpolación de los datos de 200 kg/cm² y 250 kg/cm², una vez realizado esto y teniendo en cuenta que nuestra mezcla no tiene aire incorporado obtenemos un resultado igual a $A/C = 0.5$

3.2.5 Contenido de cemento

Para calcular la cantidad de cemento que será utilizada, la obtenemos mediante la siguiente fórmula con la relación obtenida.

$$C = \frac{a}{a/c}$$

Ecuación 5. Contenido de cemento

Donde:

C = Contenido de cemento. (kg/m³)

a = Cantidad de agua. (kg/m³)

a/c = Relación agua-cemento, por peso.

$$C = \frac{190 \text{ kg}}{0.5} = 380 \text{ kg por m}^3 \text{ de hormigón.}$$

3.2.6 Determinación de contenido de agregado grueso

Para encontrar el porcentaje de contenido de árido grueso, en la siguiente Tabla 7 se expresa en función del módulo de finura del árido fino y tamaño máximo del agregado grueso.

Tabla 7. Determinación de agregado grueso

Tamaño máximo de agregado grueso (pulg)	Módulo de finura del agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.6
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.76	0.74	0.72	0.7
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.81	0.79	0.77	0.75
6	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Propia, adaptación de ACI 211

Con los datos expuestos anteriormente tenemos que el módulo de finura del agregado fino es de 2.21 y el tamaño máximo del agregado grueso es de 3/4. Debido a que los mismos no entran en ningún rango de la tabla, con la empresa en donde se realizará la mezcla se decidió utilizar un valor igual a 0.6.

Una vez determinado el porcentaje, para encontrar el contenido de agregado grueso que se va a utilizar, procedemos a multiplicar el valor encontrado por el peso específico seco del agregado grueso.

$$A_g = \text{Peso específico seco } AG * 0.6$$

Ecuación 6. Agregado grueso

$$A_g = 1600 * 0.6 = \mathbf{960 \text{ kg/m}^3}$$

3.2.7 Estimación de contenido de agregado fino

Para este punto utilizaremos el método del volumen absoluto el cual consiste en obtener el volumen que ocupa cada material (agua, cemento, agregado grueso, aire) dividiendo su peso por su peso específico correspondiente, obteniendo los siguientes resultados descritos en la Tabla 8:

Tabla 8. Volúmenes para un metro cubico de hormigón

Agua	0.19	m ³
Cemento	0.126	m ³
A. Grueso	0.36	m ³
Aire	0.02	m ³
A. Fino	0.304	m ³
A. Fino	802.56	m ³

Fuente: Propia.

3.2.8 Corrección de agregados por humedad

Los valores ya encontrados deben ser ajustados por humedad, tanto el árido fino como el árido grueso, ya que lo obtenido hace referencia a valores en seco. El ajuste por humedad se realiza empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Corrección por humedad} = \text{Cont. de agregado} * \left(\frac{\% \text{ de humedad}}{100} + 1 \right)$$

Ecuación 7. Corrección por humedad

Agregado Grueso:

$$\text{Corrección por humedad} = 960 * \left(\frac{2}{100} + 1\right) = 979.2 \text{ kg/m}^3$$

Agregado Fino:

$$\text{Corrección por humedad} = 802.56 * \left(\frac{4.68}{100} + 1\right) = 840.12 \text{ kg/m}^3$$

3.2.9 Dosificación propuesta

Con los datos obtenidos podemos concluir que para realizar un metro cubico de hormigón fresco debemos usar la siguiente dosificación descrita en la Tabla 9:

Tabla 9. Dosificación en peso

Dosificación en kg/m³	
Agua	143.7
Cemento	380
Agregado fino	840.12
Agregado grueso	979.2

Fuente: Propia

Debido a que en este trabajo de investigación se van a realizar 16 muestras de cilindros con unas dimensiones de 10 cm de diámetro y 15 cm de altura, aumentamos dos muestras más para que no nos falte la mezcla, en la Tabla 10 se muestra el volumen que se obtuvo:

$$\text{Volumen cilindro} = \pi r^2 h$$

Ecuación 8. Volumen del cilindro

$$\text{Volumen cilindro} = \pi (0.05)^2 (0.15) = 0.001178 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen para 18 muestras} = 0.001178 * 18 = 0.02121 \text{ m}^3$$

Tabla 10. Dosificación en función de las necesidades del ensayo

Dosificación en kg/m³	
Agua	3.04
Cemento	8.06
Agregado fino	17.82
Agregado grueso	20.77

Fuente: Propia

Capítulo 4: Elaboración de las muestras de hormigón

4.1 Elaboración de las muestras de hormigón

Para la elaboración de las muestras de hormigón se utilizó un molde de tubo PVC de desagüe de 10 cm de diámetro por 15 cm de altura, seguidamente se implementaron tapones en la parte inferior del tubo con la finalidad de que la mezcla no se salga. No sin antes lubricar los tubos y tapones para que la misma no se pegue a los moldes.

Figura 4. Elaboración de moldes para verter la mezcla



Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un vaciado y compactado manual con varilla en la parte interna, y para parte externa del molde se utilizó un mazo para su compactación siguiendo lo que dice la Norma Técnica Ecuatoriana, garantizando así una muestra sin porosidades que afecten en su resistencia final, acabando con un alisado en la parte superior de las muestras.

Figura 5. Vaciado de la mezcla en moldes



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Procedimiento para el curado a temperatura

Las muestras de hormigón fueron curadas mediante un termotanque de agua el cual contiene aleaciones que son empleadas como resistencias eléctricas de calentamiento, también llamadas niquelinas, que ayudaran a subir la temperatura del agua a través de una manguera que gracias a una bomba de recirculación estará presente en toda la manguera.

Figura 6. Termotanque de agua



Fuente: Elaboración propia.

La manguera que está conectada al termotanque de aproximadamente de 100 m de largo estará enroscada de tal manera que un grupo de 8 muestras entren en el centro que esta genera garantizando que todos los cilindros tengan contacto con el calor que genera.

Figura 7. Manguera enroscada en los cilindros



Fuente: Elaboración propia.

El equipo dispone también de un controlador de temperatura, el cual mediante un pequeño tablero podremos configurar la temperatura que deseemos y controlarla. La temperatura máxima que escogimos para este trabajo de titulación fue de 32°C a la que serán curadas 8 muestras de hormigón las cuales procederemos con su rotura, 4 a las 8 horas y las siguientes 4 a las 10 horas, mientras las 8 faltantes a los 28 días. Se determinó un rango de aumento de temperatura de 10°C cada 30 minutos las primeras 3 horas hasta mantenerse constante.

Figura 8. Temperatura de curado de muestras



Fuente: Elaboración propia.

Una vez puestas las 8 muestras dentro de la rosca que genera la manguera, colocamos un contenedor de agua gigante tapándolas para conseguir así una concentración de la temperatura y obtener de mejor manera los resultados esperados.

Figura 9. Muestras cubiertas por contenedor de agua



Fuente: Elaboración propia.

Las 8 muestras curadas en temperatura ambiente fueron tapadas con una lona pequeña para evitar la presencia de agua debido a las precipitaciones de la ciudad.

Figura 10. Muestras curadas a temperatura ambiente



Fuente: Elaboración propia.

Tan pronto como se cumplió el tiempo de curado para cada grupo de muestras, procedimos con el desencofrado de cada una de ellas. Para este procedimiento se utilizó una sierra eléctrica de mano para cortar los tubos de desagüe, seguido de eso se usó una hoja de sierra sandflex para desencofrarlos completamente.

Figura 11. Desencofrado de las muestras



Fuente: Elaboración propia.

4.3 Tabulación de datos de las pruebas de resistencia a la compresión de las muestras de hormigón.

Se elaboraron 16 muestras de hormigón, de los cuales 8 fueron sometidos al método de curado a temperatura de 32°C, dos de ellas por un tiempo de 8 horas y otras dos por 10 horas para luego proceder con su rotura, los 4 restantes serán sometidas a la prueba de resistencia a la compresión a la edad de 28 días, del mismo modo para las muestras que fueron curadas a temperatura ambiente.

Debido a que las muestras de hormigón fueron diseñadas con unas dimensiones de 10 cm de diámetro por 15 cm de altura, según la norma ASTM C42/C42M-04 los cilindros deben tener una relación de $\frac{1}{2}$ en función con su diámetro y altura, por lo que en este caso se tuvo que realizar una corrección por esbeltez a cada uno de los cilindros como me muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores del factor de la esbeltez

h/d	Factor Corrección
2	1
1.75	0.98
1.5	0.96
1.25	0.93
1	0.87

Fuente: ASTM C42/C42M-04

Una vez determinado el factor de corrección por esbeltez, procedemos a multiplicar por la resistencia a compresión obtenida del ensayo del testigo.

Muestras curadas a las 8 Horas

Tabla 12. Corrección por esbeltez grupo 1 de ensayo

# de espécimen	Diámetro cm	Altura cm	Área cm ²	Esbeltez (H/D)	Factor corrección
1	10.28	14.50	83.00	1.41	0.95
2	10.28	15.87	83.00	1.54	0.96
3	10.46	14.66	85.93	1.40	0.95
4	10.37	15.51	84.46	1.50	0.96

Fuente: Propia

Tabla 13. Resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión a las 8 horas

Grupo de ensayo	Temperatura	Carga kN	Prom. Carga	Resistencia sin corrección	Resistencia corregida kg/cm ²	Prom. Resistencia
1	32°C	38.517	41.529	47	45	48.5
1	32°C	44.540		54	52	
1	Ambiente	16.381	14.053	19	18	16
1	Ambiente	11.724		14	14	

Fuente: Propia

De los resultados obtenidos en las pruebas a compresión a las 8 horas de curado, iniciando desde las 8:20 am hasta la hora de su rotura que fue a las 16:22 horas de la tarde, conseguimos 22,05% de resistencia con referencia a la resistencia promedio de diseño como podemos ver en la Tabla 13.

Muestras curadas a las 10 horas

Tabla 14. Corrección por esbeltez grupo 2 de ensayo

# de espécimen	Diámetro cm	Altura cm	Área cm ²	Esbeltez (H/D)	Factor corrección
1	10.33	14.57	83.81	1.41	0.95
2	10.35	14.70	84.13	1.42	0.96
3	10.13	14.70	80.60	1.45	0.95
4	10.23	14.60	82.19	1.43	0.96

Fuente: Propia

Tabla 15. Resultados obtenidos de pruebas de resistencia a la compresión a las 10 horas

Grupo de ensayo	Temperatura	Carga kN	Prom. Carga	Resistencia sin corrección	Resistencia corregida kg/cm ²	Prom. Resistencia
2	32°C	77.568	76.414	95	91	90
2	32°C	75.170		92	89	
2	Ambiente	13.865	15.498	18	17	18.5
2	Ambiente	17.131		21	20	

Fuente: Propia

Las muestras de grupo de ensayos fueron elaboradas a las 8:20 horas de la mañana y sometidos a la prueba de resistencia a la compresión a las 18:15 horas de la tarde, dándonos un lapso de 10 horas aproximadamente. Viendo los resultados en la Tabla 15, se logró un 40.91% de resistencia, con respecto a la resistencia promedio de diseño anteriormente planteada.

Muestras curadas a los 28 días.

Tabla 16. Corrección por esbeltez grupo 3 de ensayo

# de espécimen	Diámetro cm	Altura cm	Área cm ²	Esbeltez (H/D)	Factor corrección
1	10.63	15.1	83.81	1.42	0.95
2	10.53	14.83	84.13	1.41	0.95
3	10.60	14.46	80.60	1.37	0.94
4	10.36	14.93	82.19	1.44	0.95
5	10.33	14.63	83.84	1.42	0.95
6	10.43	14.6	85.41	1.40	0.95
7	10.33	15.4	83.84	1.49	0.96
8	10.63	14.86	88.78	1.40	0.96

Fuente: Propia

Tabla 17. Resultados obtenidos de pruebas de resistencia a la compresión a los 28 días a 32°C

Grupo de ensayo	Temperatura	Carga kN	Prom. Carga	Resist. sin corrección	Resistencia corregida kg/cm ²	Prom. Resistencia
3	32°C	173.20		211	200	
3	32°C	154.50	151.18	184	175	172.5
3	32°C	147.30		179	172	
3	32°C	129.70		149	143	

Fuente: Propia

Tabla 18. Resultados obtenidos de pruebas de resistencia a la compresión a los 28 días a temperatura ambiente

Grupo de ensayo	Temperatura	Carga kN	Prom. Carga	Resist. sin corrección	Resistencia corregida kg/cm ²	Prom. Resistencia
3	Ambiente	172.80		199	189	
3	Ambiente	185.40	178.78	217	206	198
3	Ambiente	209.90		243	228	
3	Ambiente	147.00		178	169	

Fuente: Propia

Para este grupo de muestras que fueron elaboradas en día 17 de abril del 2024, se arrancó con su rotura en día 15 de mayo del 2024, exactamente cumplidos los 28 días de fraguado. Observando en la Tabla 17 y Tabla 18 de resultados obtenidos, demuestran que se obtuvo un 78.41% de resistencia en referencia de la resistencia promedio de diseño.

4.4 Comparación de resultados entre las muestras curadas a temperatura y las que fueron curadas a temperatura ambiente

Curadas a 32°C:

Tabla 19. Porcentaje de resistencia de diseño con temperatura de 32°C

Tiempo curado	Resistencia kg/cm ²	%
8 horas	48.5	22.05
10 horas	90	40.91
28 días	172.5	78.41

Fuente: Propia

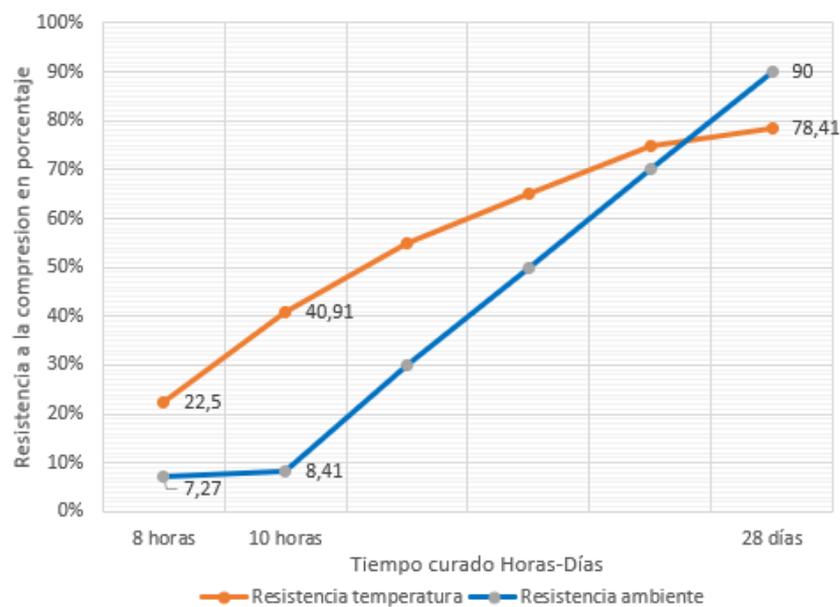
Curadas a temperatura ambiente:

Tabla 20. Porcentaje de resistencia de diseño con temperatura ambiente

Tiempo curado	Resistencia kg/cm ²	%
8 horas	16	7.27
10 horas	18.5	8.41
28 días	198	90

Fuente: Propia

Figura 12. Comparación de la resistencia de diseño en porcentaje entre curado a temperatura de 32°C y curado a temperatura ambiente



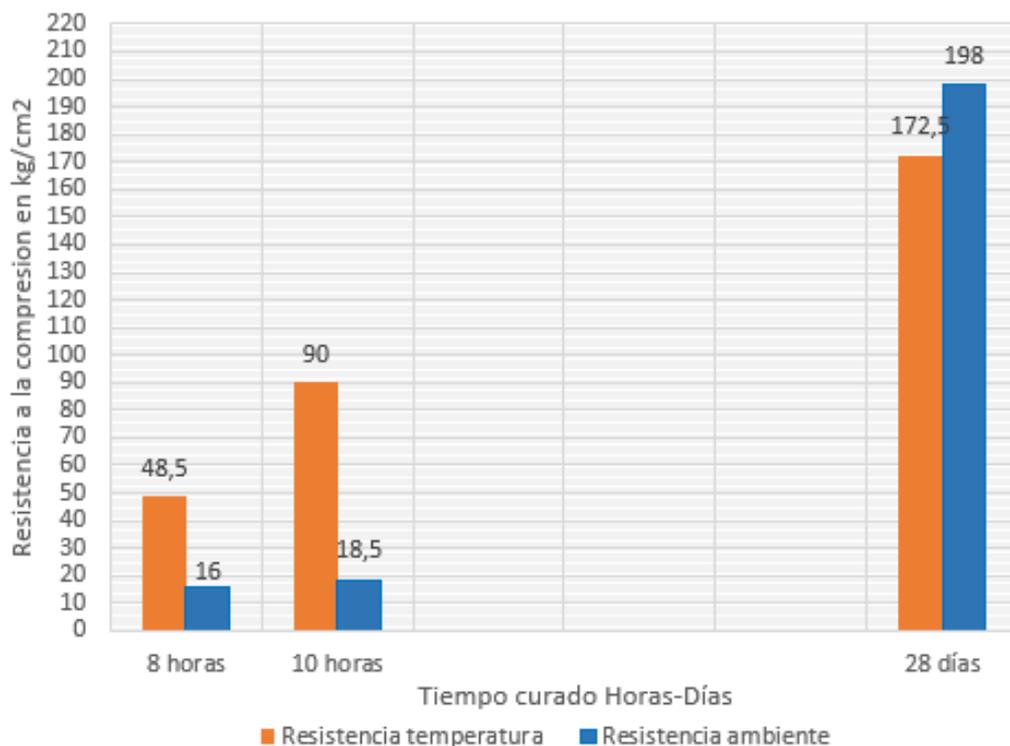
Fuente: Propia

Como podemos observar en la Figura 12 para las muestras sometidas a la temperatura de 32°C en las primeras 8 horas y 10 horas tuvieron una resistencia mayor del 22.5% y 40.91% en comparación con las muestras que fueron curadas a temperatura ambiente las cuales tuvieron un porcentaje de resistencia del 7.27% a las 8 horas y del 8.41% a las 10 horas, teniendo así una diferencia del 15.23% y 32.5% respectivamente.

A los 28 días en la Figura 12 muestra que, las muestras que fueron curadas al ambiente tuvieron una mayor resistencia del 90% en comparación a los que fueron curados a

temperatura teniendo una resistencia menor del 78.41% con una diferencia menor entre sí de 11.59%.

Figura 13. Gráfico comparativo de las resistencias obtenidas en los diferentes tiempos



Fuente: Propia.

Como podemos analizar en la Figura 13, la comparativa de los resultados obtenidos en los ensayos a compresión a sus respectivas horas los cuales fueron curados a la temperatura de 32°C y ambiente. Los resultados fueron que a la temperatura de 32°C se obtuvo un incremento de la resistencia a compresión a los tiempos de 8 horas y 10 horas, en comparación con las que se curaron a temperatura ambiente, sin embargo para el tiempo de 28 días las resistencias a compresión por parte de las muestras que fueron curadas a temperatura ambiente son mayores en comparación con las que fueron sometidos a temperatura, obteniendo en este tiempo los mínimos pero mejores resultados, su resistencia fue incrementando gradualmente pero no de forma significativa las primeras 10 horas, una vez ya en los 28 días obtuvo un mejor rendimiento, puesto a que tuvo un ciclo de curado satisfactorio y sin interrupciones, esto debido a que las muestras que fueron sometidas a curado por temperatura, a las 10 horas se sacaron del calor y se dejaron curar igual a temperatura ambiente hasta los 28 días, habiendo ahí varios factores

que pudieron afectar, como un efecto térmico lo cual afectó negativamente en su resistencia final, la pérdida de humedad en sus primeras 10 hora de fraguado, efectos de contracción y expansión causado por el cambio brusco de temperatura afectando su estructura interna y su resistencia.

4.5 Muestras curadas a 32°C y temperatura ambiente a las 8 horas y 10 horas

Tabla 21. Comparación a las 8 horas entre curado a temperatura y ambiente

Temperatura	Resistencia	%
	kg/cm2	
32°C	48.5	22.05
Ambiente	16	7.27
Ganancia en %	33	

Fuente: Propia

En la Tabla 21, a las 8 horas de curado a una temperatura de 32°C se obtiene una ganancia de la resistencia del 33% que debería tener con respecto a un curado que se ejecuta a temperatura ambiente.

Tabla 22. Comparación a las 10 horas entre curado a temperatura y ambiente

Temperatura	Resistencia	%
	kg/cm2	
32°C	90	40.91
Ambiente	18.5	8.41
Ganancia en %	20.6	

Fuente: Propia

Como vemos en la Tabla 22, a las 10 horas se obtiene una ganancia de resistencia del 20.6% de las muestras curadas a temperatura de 32°C con respecto a las que fueron curadas a temperatura ambiente.

Conclusiones

- Se concluye que, las muestras que fueron sometidas al método de curado por temperatura de 32°C las primeras 8 y 10 horas, se obtiene una resistencia mayor del 22.05% y 40.91% respectivamente, con respecto a la resistencia promedio de diseño de 220 kg/cm², en comparación con las muestras curadas a temperatura ambiente, sugiriendo que el curado a temperaturas altas por tiempo limitado puede acelerar su proceso de hidratación por consecuencia mejorar la resistencia inicial del hormigón.
- De la misma manera, en curado a temperatura de 32°C a las 8 horas se obtuvo una ganancia de resistencia del 33% y a las 10 horas del 20.6% a diferencia de las que fueron curadas de manera tradicional, siendo así las 10 horas el tiempo óptimo de curado a vapor en este estudio para la optimización de tiempos.
- Sin embargo, las muestras curadas a temperatura ambiente durante todo ese periodo obtuvieron una mayor resistencia de 198 kg/cm² a los 28 días en comparación con las muestras curadas a 32°C por 10 horas y luego expuestas al ambiente durante 28 días, que mostraron una resistencia de 172.5 kg/cm², indicando que su enfriamiento y exposición al ambiente pudo haber generado resultados negativos en la resistencia del hormigón a largo plazo, a pesar de tener resultados positivos en los inicios del curado a altas temperaturas.
- Las muestras curadas a temperatura ambiente entre las primeras 8 horas y 10 horas muestran una resistencia baja a la compresión con un aumento mínimo entre estas, mientras que a los 28 días aumenta considerablemente, es decir, el desarrollo de su resistencia incrementa paulatinamente con el paso del tiempo sin variaciones.
- De manera general, podemos decir que el curado a temperaturas altas puede acelerar el proceso de hidratación, pero debemos tener en cuenta que para que alcance la resistencia deseada y se minimice la pérdida de humedad debemos garantizar que el proceso de curado se realice durante el tiempo necesario y no exponerlos a efectos térmicos que puedan afectar estas propiedades.

Recomendaciones

- Tener un seguimiento más cuidadoso del proceso completo de curado para garantizar que se alcance la resistencia deseada a largo plazo.
- Realizar más estudios y ensayos explorando una gama más amplia de condiciones de curado, en este caso someter las muestras de hormigón a curado a vapor a las 12, 14, 18 horas, ver su comportamiento y determinar el horario óptimo en el que la temperatura hace su mejor trabajo.
- Aplicar el mismo estudio, pero con diferentes tipos de hormigones para verificar la reproducibilidad de los resultados y cómo estos se pueden aplicar en diferentes situaciones.
- Llevar a cabo los conocimientos obtenidos en este trabajo de titulación mediante la aplicación en las prácticas de diseño y construcción de estructuras de hormigón y como los resultados podrían contribuir con el desarrollo de las normativas y estándares ya establecidos en el mundo de la construcción.

Referencias

- ACI Committee 309. (2005). *Compactación del Concreto ACI 309-05*. American Concrete Institute.
- Aliaga, A. (2018). EVALUACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ Y TIPOS DE AGREGADOS FINOS SOBRE LA COMPRESIÓN, SORPTIVIDAD Y DENSIDAD DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND TIPO I, TRUJILLO 2017. [Tesis para optar el título profesional de: Ingeniero Civil, Universidad Privada del Norte] Perú.
- Arcos D'Hainaut, C. (1976). Algunos aspectos de los hormigones con aire incorporado (286th ed., Vol. 29). *Informes De La Construcción*. <https://doi.org/10.3989/ic.1976.v29.i286.2709>
- Arteaga, E. (2023). Estudio del tiempo de fraguado para su colocación y su influencia en la resistencia del concreto, Pasco 2022. [Tesis para optar el título profesional de: Ingeniero Civil, UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION].
- ASTM. (2005). Standard Specification for Portland Cement. C 150-05.
- ASTM C 29/C 29M-97. (2003). Standard Test Method for Bulk density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate (Vol. 04.02). American Standards of Testing of Materials.
- Benito, F., Parra, C., Valcuende, M., Miñano, I., & Rodríguez, C. (2015, junio). MÉTODO PARA CUANTIFICAR LA SEGREGACIÓN EN HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES. *CONCRETO Y CEMENTO. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO*, 6(2), 48-63. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-30112015000100003&script=sci_abstract&tlng=pt
- García, D., & Ortiz, F. (2021). Análisis de la Incidencia de Fibras Plásticas Recicladas, en Hormigón $F'c$ 240 kg/cm² sometido al esfuerzo de flexión. [Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil con mención en Gerencia de Construcciones, Universidad del Azuay].
- García, L. G. (2018). Concreto de alto desempeño utilizando hormigón con adición de microsilice y superplastificante en la ciudad de Huancayo. [Universidad Nacional del Centro del Perú, TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL].
- Garín, L., Santilli, A., & Pedoja, E. (2012). Influencia del curado en la resistencia a compresión del hormigón: estudio experimental (10th ed., Vol. 109–114). *Memoria Investigaciones de Ingeniería*. <https://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/369>

- Giraldo, O. (2006). DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN, METODOS ACI 211, WEYMOUTH, FULLER, BOLOMEY, FAURY. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Rodríguez, I., Rojas, L., & Segura, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en Marcha*, 25(2), 80-86.
- Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>
- HOLCIM. (2024). Cemento Holcim Premium. Holcim Ecuador. Retrieved February 20, 2024, from <https://www.holcim.com.ec/cemento-holcim-premium>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). Áridos. Determinación de la masa unitaria (Peso Volumétrico) y el porcentaje de vacíos. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 858:2010. Quito.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2011). Áridos. Análisis Granulométrico de los Áridos, Fino y Grueso. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 696:2011. Quito.
- la Mancha, A. C. (2008). La Importancia de los Áridos. T&T. 15
- Mayta Rojas, J. (2014). *Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo*, Universidad Nacional del Centro de Perú.
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú (2a ed.)*. Colegio de Ingenieros del Perú - Consejo Nacional.
- Ponce, C. P. (2014). *ESTUDIO DEL CONCRETO RECICLADO DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND TIPO I*. [Tesis Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería]. https://web.archive.org/web/20180504030920id_/http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3643/1/ponce_pc.pdf
- Rodríguez, M. A. (2011). *El Fraguado del Concreto en diferentes medios: Con Humedad, Sin Humedad, En temperaturas bajo Cero*. [Tesis como Requisito para obtener el grado de Máster en Educación Científica, Centro de Investigación de Materiales Avanzados, S.C.]. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2349/1/TESIS%20MARIO%20%28FRAGUADO%20DE%20CONCRETO%29%20%281%29.pdf>

- Romea, C. (2014). *El hormigón: Breve reseña histórica de un material milenario*. Retrieved January 21, 2024, from <https://www.omniascience.com/books/index.php/monographs/catalog/download/77/311/491-1?inline=1>
- Romo Proaño, M. (2008). *TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO*. Escuela Politécnica del Ejército.
- Rosas, R., & Valer, J. (2021). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DEL CONCRETO F'c=210 KG/CM2 CON UN CONCRETO CON SUPERPLASTIFICANTE DEL 0.6% - 1.5%, CUSCO 2018*. Universidad Andina de Cusco.
- Salinas, X., Vélez, A., Espín, M., & Freire, D. (2023, agosto). Hormigón fresco y su incidencia en sus propiedades físicas y mecánicas. *REVISTA LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES*. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.959>
- Sánchez, D., Chiliquinga, J., Flores, E., & Orosco, M. (2020). Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón Fabricado con Agregados de la Mina de San Roque, Imbabura, Ecuador. *Revista Politécnica*, 46(1). http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292020000400029
- Smith, K. A. (2000). *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods, Revised, and Expanded*. Keith A. Smith.