

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

“Estudio del grado de deterioro del hormigón simple y armado empleando una cámara de envejecimiento”

**Disertación previa a la obtención del título de Licenciada en Ciencias Químicas con
Mención en Química Analítica**

KAREN PAMELA BOHORQUEZ TINIZARAY

Quito, 2019

CERTIFICACIÓN

Certifico que la disertación de Licenciatura en Ciencias Químicas con Mención en Química Analítica, de la Srta. Karen Pamela Bohórquez Tinizaray ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Dr. José Luis Piñeiros Mendoza

Director de la Disertación

Quito, 02 de marzo de 2020

AGRADECIMIENTO

“Me enseñaron que el camino del progreso no es ni rápido ni fácil”

Marie Skłodowska-Curie

Agradecida con Dios y la Virgencita Inmaculada.

Quiero agradecer a mi papá Marcelo Bohórquez, por todo el amor que me ha dado a lo largo de mi vida, infinitas gracias por siempre querer lo mejor para mi, por empujarme a seguir adelante y por inculcarme los valores más importantes que son el respeto y la responsabilidad.

Muchísimas gracias a mi mamá Gissella Tinizaray, por ser el motor fundamental en mi vida, por siempre estar a mi lado, ser mi apoyo y refugio de toda la vida. Nunca me cansaré de estar agradecida por todo lo que sigues haciendo por mi.

A mi hermano Marcel Bohórquez, gracias por siempre alegrar mis días, por iluminar nuestra familia y por inspirarme a ser más humana.

A mi Mamilla, mi Papito Víctor, mi abuelita Rosi y mi abuelito Efraín por todas sus oraciones y por todo el amor que tienen para mi. Gracias de corazón.

Gracias a mi tutor Dr. Ing. José Luis Piñeiros por brindarme la oportunidad de trabajar con el, además de la paciencia brindada, y por todo el conocimiento que ha compartido conmigo.

A mis profesores de la carrera, gracias por enseñarme de la mejor manera que en química todo es posible.

A todo el equipo que trabaja en el CESAQ muchas gracias por abrirme las puertas de su laboratorio. Siempre es un gusto trabajar junto a ustedes y seguir aprendiendo de los mejores.

A mis compañeras de aula que se convirtieron en mis amigas incondicionales, ustedes supieron duplicar mis alegrías y dividieron mis angustias por la mitad. Muchas gracias por siempre estar Bruna y Cami. También agradezco a mi amigo Bryan al que estuvo en los mejores y peores momentos que pasamos a lo largo de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 EL HORMIGÓN	13
1.2 COMPONENTES DEL HORMIGÓN	14
1.2.1 Aglomerantes.....	14
1.2.2 Agua.....	17
1.2.3 Áridos o agregados.....	18
1.2.4 Aditivos	18
1.3 OTROS COMPUESTOS QUE SE ENCUENTRAN EN LAS MATERIAS PRIMAS:.....	20
1.3.1 Óxido de magnesio	20
1.1.1 Álcalis.....	20
1.1.2 Óxido de azufre.....	21
1.1.3 Cloruros	21
1.1.4 Carbonatos	21
1.4 ENVEJECIMIENTO DEL HORMIGÓN	22
1.5 ANÁLISIS GRAVIMÉTRICOS	23
1.6 ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	23
1.6.1 Ley de Lambert-Beer	24
1.6.2 Transmitancia	24
1.6.3 Absorbancia	24
1.6.4 Instrumentación	25
1.7 OBJETIVOS.....	26
1.7.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
2. MATERIALES Y MÉTODOS	27
2.1 MUESTREO	29
2.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	30
2.3 EQUIPOS	30
2.4 MATERIALES	30

2.5	REACTIVOS	31
2.6	DETERMINACIÓN GRAVIMÉTRICA	32
2.6.1	DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.....	32
2.6.2	DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA POR CALCINACIÓN	32
2.6.3	DETERMINACIÓN DE SILICATOS	32
2.6.4	DETERMINACIÓN DE ÓXIDO DE HIERRO	33
2.6.5	DETERMINACIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO.....	34
2.6.6	DETERMINACIÓN DE ÓXIDO DE MAGNESIO.....	35
2.6.7	DETERMINACIÓN DE SULFATOS.....	35
2.7	DETERMINACIÓN VOLUMÉTRICA.....	36
2.7.1	DETERMINACIÓN DE CLORUROS	36
2.7.2	DETERMINACIÓN DE CARBONATOS Y BICARBONATOS.....	37
2.8.1	DETERMINACIÓN DE CATIONES USANDO UN ESPECTOFOTOMÉTRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	38
3.	RESULTADOS	41
3.1	RESULTADOS DE HUMEDAD	41
3.2	RESULTADOS DE PÉRDIDA POR CALCINACIÓN	42
3.3	RESULTADOS DE ANIONES	43
3.4	RESULTADOS DE ÓXIDOS	48
3.5	RESULTADOS ABSORCIÓN ATÓMICA	51
3.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	61
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
5.	CONCLUSIONES.....	74
6.	RECOMENDACIONES.....	75
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
8.	ANEXOS.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de los estándares para la curva de calibración de hierro.....	39
Tabla 2. Concentración de los estándares para la curva de calibración de calcio.....	39
Tabla 3. Concentración de los estándares para la curva de calibración de magnesio.	39
Tabla 4. Concentración de los estándares para la curva de calibración de sodio.	40
Tabla 5. Concentración de los estándares para la curva de calibración de potasio.	40
Tabla 6. Condiciones instrumentales del equipo de absorción atómica.....	40
Tabla 7. Valores experimentales de la determinación de humedad de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).	41
Tabla 8. Valores experimentales de la determinación de pérdida por calcinación de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).	42
Tabla 9. Valores experimentales de la determinación de silicatos de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).	43
Tabla 10. Valores experimentales de la determinación de sulfatos de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).	44
Tabla 11. Valores experimentales de la determinación de cloruros de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).	45
Tabla 12. Valores experimentales de la determinación de carbonatos de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).	46
Tabla 13. Valores experimentales de la determinación de bicarbonatos de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).	47
Tabla 14. Valores experimentales de la determinación de óxido de hierro de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).	48
Tabla 15. Valores experimentales de la determinación de óxido de calcio de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).	49
Tabla 16. Valores experimentales de la determinación de óxido de magnesio de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).	50
Tabla 17. Curva de Calibración del hierro	51
Tabla 18. Valores experimentales de la determinación de hierro por absorción atómica.	52
Tabla 19. Curva de Calibración del calcio.	53
Tabla 20. Valores experimentales de la determinación de calcio por absorción atómica.	54
Tabla 21. Curva de calibración del magnesio.	55
Tabla 22. Valores experimentales de la determinación de magnesio por absorción atómica.	56
Tabla 23. Curva de Calibración del sodio.....	57
Tabla 24. Valores experimentales de la determinación de sodio por absorción atómica..	58

Tabla 25. Curva de Calibración del potasio.....	59
Tabla 26. Valores experimentales de la determinación de potasio por absorción atómica.	60
Tabla 27. Análisis de varianza ANOVA para los componentes que se encuentran presentes en el hormigón simple.....	61
Tabla 28. Análisis de varianza ANOVA para los componentes que se encuentran presentes en el hormigón armado.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cámara de simulación climática.....	22
Figura 2. Panel de control de la cámara de simulación climática.....	22
Figura 3. Bandejas con muestras de hormigón dentro de la cámara de simulación climática.....	22
Figura 4. Esquema del equipo de absorción atómica	23
Figura 5. Sección transversal de una lámpara de cátodo hueco	25
Figura 6. Ejemplo de funcionamiento de la cámara de envejecimiento elaborado por Pazos, 2018.....	27
Figura 7. Muestra de cilindro de hormigón armado.....	29
Figura 8. Resumen de ciclos, secuencias, y tiempo usados para la experimentación de la cámara de simulación climática.....	29
Figura 9. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de humedad en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.	41
Figura 10. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de pérdida por calcinación en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.....	42
Figura 11. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de silicatos en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.	43
Figura 12. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de sulfatos en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.	44
Figura 13. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de cloruros en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.	45
Figura 14. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de cloruros en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.	46
Figura 15. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de bicarbonatos en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.	47
Figura 16. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de óxido de hierro en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.....	48
Figura 17. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de óxido de calcio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.....	49
Figura 18. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de óxido de calcio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.....	50
Figura 19. Curva de calibración de hierro	51
Figura 20. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de hierro en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.	51
Figura 21. Curva de calibración de calcio	53

Figura 22. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de calcio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.	53
Figura 23. Curva de calibración de magnesio	55
Figura 24. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de magnesio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.	55
Figura 25. Curva de calibración de sodio	57
Figura 26. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de sodio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.....	57
Figura 27. Curva de calibración de potasio	59
Figura 28. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de potasio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.	59
Figura 29. Diferentes estados de saturación del agregado (Gutiérrez de López, 2003)...	63
Figura 30. Análisis gravimétrico para la determinación de sílice.....	66
Figura 31. Análisis gravimétrico para la determinación de sulfatos	67
Figura 32. Análisis volumétrico para la determinación de cloruros	68
Figura 33. Análisis volumétrico para la determinación de carbonatos	69
Figura 34. Análisis volumétrico para la determinación de bicarbonatos	70
Figura 35. Análisis gravimétrico para la determinación de óxido de hierro	71
Figura 36. Análisis gravimétrico para la determinación de óxido de calcio	72

ANEXOS

Anexo 1. Balanza analítica Mettler Toledo, ML 204	79
Anexo 2. Pipeta 100-1000 μ L Pipette.....	79
Anexo 3. Pipeta de 10-100 μ L Capp Denmark.....	79
Anexo 4. Pipeta 1- 5 mL Capp Denmark.....	80
Anexo 5. Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer HGA 900	80
Anexo 6. Equipo de envejecimiento artificial BIOBASE, modelo BJPX-A450.....	81
Anexo 7. Humidificador ultrasónico YADU	81
Anexo 8. Certificado de calidad de la pipeta 100-1000 μ L Pipette.....	82
Anexo 9. Certificado de calibración de la pipeta 10-100 μ L CAPP.	83
Anexo 10. Certificado de calibración de la pipeta 1-5 mL CAPP.	84
Anexo 11. Certificado estándar de sodio, AccuStandard®, Inc.	85
Anexo 12. Certificado estándar de potasio, AccuStandard®, Inc.	86
Anexo 13. Certificado estándar de calcio, AccuStandard®, Inc.....	87
Anexo 14. Certificado estándar de magnesio, AccuStandard®, Inc	88
Anexo 15. Certificado estándar de hierro, AccuStandard®, Inc.....	89

RESUMEN

El hormigón es uno de los materiales más usados en el área de construcción, debido a esto se estudió el envejecimiento del hormigón simple y del hormigón armado. Se ubicaron muestras de hormigón traídas de la Facultad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en una cámara de simulación climática a la que se podía controlar condiciones de humedad, temperatura y radiación. Por medio de un software llamado Solver se determinó que un período de tiempo de 19,25 días corresponden a una exposición ambiental de 5 años. Los análisis se realizaron para muestras que fueron sometidas a 0, 5, 10, 15 y 20 años. Se emplearon técnicas gravimétricas para la determinación de humedad, pérdida por calcinación, óxido de sílice, óxido de hierro, óxido de calcio y óxido de magnesio; mientras que las técnicas volumétricas sirvieron para analizar cloruros, carbonatos y bicarbonatos. También se empleó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica para determinar hierro, sodio, potasio, calcio y magnesio. Todos los resultados obtenidos fueron tabulados y graficados para visualizar la tendencia que se iba formando a medida que pasaban los años. Los análisis más destacados fueron la humedad ya que presentó una tendencia de aumento y disminución debido a la evaporación del agua por las temperaturas elevadas. Otro análisis importante fue el equilibrio carbonato-bicarbonato debido al paso de iones hidronio (H^+), y los óxidos de hierro que variaron significativamente por la presencia de un refuerzo de hierro en el hormigón armado con respecto al hormigón simple. El análisis estadístico aplicado fue la prueba de hipótesis ANOVA con el fin de observar si existían diferencias significativas entre las varianzas. Se pudo concluir que si existieron cambios en la composición química del hormigón simple y del hormigón armado al pasar los años. Este tipo de estudio es importante prevenir futuras afectaciones a estos materiales ya que son los que brindan resistencia, versatilidad y durabilidad en el tema de construcciones.

Palabras clave: hormigón, cámara de simulación climática, técnicas gravimétricas, técnicas volumétricas, espectrofotometría de absorción atómica.

ABSTRACT

Concrete is one of the most used materials in the construction area, due to this the aging of plain concrete and reinforced concrete was studied. Concrete samples brought from the Faculty of Civil Engineering of the Pontificia Universidad Católica del Ecuador were located in a climate simulation chamber where humidity, temperature and radiation conditions could be controlled. Using a software called Solver, it was determined that a time period of 19.25 days corresponds to an environmental exposure of 5 years. The analyzes were performed for samples that were subjected to 0, 5, 10, 15 and 20 years. Gravimetric techniques were used for the determination of humidity, loss on ignition, silica oxide, iron oxide, calcium oxide and magnesium oxide; while volumetric techniques were used to analyze chlorides, carbonates and bicarbonates. The atomic absorption spectrophotometry technique was also used to determine iron, sodium, potassium, calcium, and magnesium. All the results obtained were tabulated and graphed to visualize the trend that was forming as the years passed. The most outstanding analyzes were humidity since it presented a tendency of increase and decrease due to the evaporation of water due to high temperatures. Another important analysis was the carbonate-bicarbonate balance due to the passage of hydronium ions (H^+), and the iron oxides that varied significantly due to the presence of an iron reinforcement in the cast concrete with respect to plain concrete. The statistical analysis applied was the ANOVA hypothesis test in order to observe if there were significant differences between the variances. It could be concluded that there were changes in the chemical composition of plain and reinforced concrete over the years. This type of study is important to prevent future damage to these materials since they are the ones that provide strength, versatility and durability in the field of construction.

Keywords: concrete, climate control chamber, gravimetric techniques, volumetric techniques, atomic absorption spectrophotometry.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL HORMIGÓN

La palabra hormigón proviene del latín “formicus” o “concretus”, que significa homogéneo con molde o forma.

En la antigüedad el material de construcción que se utilizaba era el cemento en bruto, el cual era hecho por la trituración y quema de yeso o piedra caliza. Cuando se agregaron arena y agua a estos cementos, se convirtieron en mortero, éste era un material similar al yeso, y era usado para adherir piedras entre sí. Durante miles de años, el hormigón fue mejorando, se combinó con otros materiales y en última instancia se transformó en el hormigón moderno (Gromicko, N., et al, 2016).

El hormigón empleado en construcción está conformado principalmente de cemento, agregados gruesos y finos de piedra, arena y agua. En el momento de su amasado, se pueden añadir otros productos o materiales para mejorar alguna de sus características determinadas (Nistal, 2012).

Según características específicas de los componentes del hormigón se los puede clasificar en:

- Hormigón ordinario: Es el material que se obtiene al mezclar cemento, agua, y áridos minerales de varios tamaños superiores o inferiores a 5 mm.
- Hormigón en masa: Es el material que no contiene en su interior armadura de ninguna clase.
- Hormigón armado: Es el hormigón con armadura de acero especial sometida a tracción previamente a la puesta en carga del conjunto. El hormigón armado, diseñado y producido para el ambiente en el que va a prestar servicio, es considerado un material muy duradero, pero si el diseño o la producción no son adecuados, se puede deteriorar, dejando así de cumplir su función de manera correcta (Arredondo, 1972).

El hormigón es considerado un sólido compacto, denso y poroso. En la red de poros se encuentra un entramado de canalículos y capilares, los cuales no están comunicados entre sí, y éstos poseen tamaños que van desde ángström (Å) hasta milímetros (mm). La porosidad hace que el hormigón sea permeable en cierta medida a líquidos y gases,

pudiendo en ciertas ocasiones permitir el acceso de elementos agresivos como el acero (Arredondo, 1972).

1.2 COMPONENTES DEL HORMIGÓN

1.2.1 Aglomerantes

Son materiales capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físicos. Entre los más usados en construcción se encuentra el barro, la cola, el betún, cementos, cales y yesos (Universidad de Salamanca, 2008).

1.2.1.1 La Cal

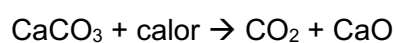
Es uno de los materiales de construcción más antiguos, se usaba unos 4000 años A.C. en el revestimiento de las pirámides de Egipto. Para la construcción de la Muralla China se empleó ampliamente el mortero de cal. Y los romanos adicionaron a la cal viva las cenizas volcánicas que eran ricas en sílice con lo cual obtuvieron un material que fraguaba bajo el agua.

Se conoce como cal a todo producto, sea cual fuere su composición y aspecto físico, que resulte de la calcinación de piedras calizas. Debido a que existe variaciones de la composición de la roca de partida, se pueden obtener una serie de cales, que varían desde las cales muy puras, las altamente cálcicas, hasta altamente hidráulicas, con contenidos de óxido de calcio de un 50% (Fernández, 1989).

Los tipos fundamentales de cales son:

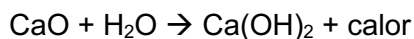
Cales aéreas. – Son las que se componen principalmente óxido e hidróxido de calcio y magnesio, los cuales endurecen lentamente al aire por la acción del CO₂ de la atmósfera. Además, las cales aéreas no presentan propiedades hidráulicas, quiere decir que no se endurecen con el agua y se obtienen por medio de rocas calizas con contenidos en carbonatos superiores al 95% (Arredondo, 1972).

Cuando se realiza una cocción entre 900-1000°C a una caliza más o menos pura se tiene la siguiente reacción:



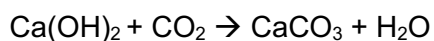
El carbonato de calcio se descompone, dando dióxido de carbono, el cual es gaseoso y se desprende junto con los humos del combustible y óxido de calcio.

Al óxido de calcio se lo conoce como cal viva, éste es un producto inestable debido a que tiene gran avidez para el agua, reaccionando de la siguiente manera:



Se produce hidróxido de calcio, también conocido como cal apagada, se desprende calor y se eleva la temperatura a 160 °C. Si se sigue añadiendo agua para formar el hidróxido se denominará cal en polvo, y si una vez formada la cal en polvo se sigue aumentando agua se forma la cal en pasta.

Al ponerse en obra la cal apagada se produce el proceso de recarbonatación, dando la siguiente reacción:



La cal apagada en pasta tiene la propiedad de endurecerse lentamente en el aire, uniendo los cuerpos sólidos, por este motivo se la emplea como aglomerante. El endurecimiento recibe el nombre de fraguado, y se da por una desecación por evaporación del agua con la que se formó la pasta; y después a una recarbonatación por absorción del dióxido de carbono del aire (Sánchez, 2001).

Las calizas naturales casi nunca son la especie química carbonato de calcio, estas vienen combinadas con arcilla, magnesio, hierro, azufre, álcalis, y materias orgánicas, comunicando propiedades que dependen de la porción en que entran a formar parte de la piedra caliza. Y se clasifican en:

Cal grasa: Cuando la caliza contiene como máximo 5% de óxido de magnesio.

Cal magra: Las calizas que contienen más de 5% de óxido de magnesio. Al aumentarles agua forman una pasta gris, que se entumece menos y produce más calor que las cales grasas. Al secarse en aire se reducen a polvo, por este motivo no se usan en construcción.

Cal hidráulica: Es un material conglomerante, hidratado y pulverulento que se obtiene por medio de la calcinación de las calizas que contienen arcillas (sílice y alúmina). Las cales hidráulicas, después de ser amasadas con agua, se endurecen en aire y también en agua, siendo ésta su propiedad más importante (Camuñas, 1974).

1.2.1.2 El Yeso

El yeso ha sido utilizado desde la más remota antigüedad, principalmente en el oriente medio, también los egipcios utilizaron el yeso para la construcción de pirámides como la pirámide de Keops. En España, el Palacio Real Alcázar de Sevilla fue decorado con yeso.

La piedra de yeso o aljez se encuentra en la naturaleza como un mineral constituyente de rocas que producen lechos masivos, usualmente a partir de la precipitación de aguas altamente salinas. Su composición química es $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Tiene un 32,6% de óxido de calcio, 46,5% de óxido de azufre, y 20,9% de agua. Se presenta en cristales tabulares exfoliables en láminas, generalmente incoloros. Su color varía generalmente de blanco a blanco grisáceo, en ocasiones suele presentar distintas tonalidades de rojizo, amarillo, castaño, azul grisáceo o rosa, como consecuencia de impurezas provenientes de arcilla, óxido de hierro, sílice y caliza (Arredondo, 1972).

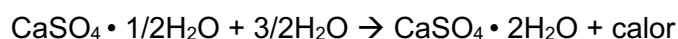
Es un mineral usado en construcción (productos prefabricados, cementos), obras mineras, fabricación de agroquímicos, tratamiento de agua, pinturas, ortopedia, dental, entre otros (Subsecretaría de minería, 2017).

La piedra de aljez se obtiene por deshidratación parcial, una vez que es sometida a temperatura menor a 170 °C, se pierde una molécula y media de agua, formándose así el sulfato cálcico hemihidratado.

La reacción que ocurre es la siguiente:



Obteniéndose así el yeso cocido o deshidratado. A este si se le agrega agua, una vez pulverizado, se rehidrata formando de nuevo el dihidrato. Al amasar el yeso con la correcta proporción de agua se obtiene una pasta untuosa que se endurece rápidamente, al endurecimiento se lo conoce como fraguado. La reacción es la siguiente:



Si la temperatura es mayor a 170 °C, el dihidrato llega a perder toda el agua de cristalización obteniéndose la anhidrita soluble CaSO_4 , la cual es muy inestable y además pasa fácilmente a hemihidrato al absorber el agua atmosférica.

1.2.1.3 El Cemento

El origen de la palabra cemento viene de toda sustancia que posea condiciones de pegante cualquiera sea su origen.

Los griegos y los romanos utilizaban ceniza volcánica la cual mezclaban con cal, para formar productos de mejor calidad. Los materiales que estaban mezclados con cal daban un producto que adquiriría consistencia en presencia del agua, a éste se lo llamó puzolana, nombre que viene de Puzol, ciudad que queda en el Golfo de Nápoles.

Años más tarde, en 1750, John Smeaton mezcló arcillas con cal y obtuvo un producto que fue usado para la reparación del Faro de Eddyston. En 1824, Joseph Aspdin prosiguió con los estudios de Smeaton y patentó el "Cemento Portland", este material tenía un aspecto muy similar a unas piedras de construcción extraídas en Portland, ciudad ubicada al sur de Inglaterra.

Las investigaciones sobre el tema continuaban y en 1845, el inglés Isaac Johnson le da a la mezcla la temperatura apropiada para formar así el Clinker, material que después de molido brinda una óptima calidad como cementante (Gutiérrez de López, 2003).

Existen dos tipos de cementos: Los cementos naturales, y el cemento Portland. El cemento natural se da por la calcinación de margas naturales a temperaturas medias, sin formación de la fase líquida. Mientras que el cemento Portland está compuesto principalmente por: cal (CaO), sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3). Muy pocas veces se encuentran en la naturaleza juntos y en las proporciones adecuadas, por lo que para la fabricación del cemento se necesitan mezclar sustancias minerales que los contengan, por ejemplo, las calizas aportan con cal, y las arcillas con alúmina y óxido de hierro (Arredondo, 1972).

1.2.2 Agua

Es un componente importante en las mezclas de hormigón y mortero, ya que permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante. Según la Norma Técnica Colombiana 3459 la calidad del agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de aceites, sales, ácidos, materia orgánica y distintas sustancias que puedan ocasionar algún daño en el hormigón o en el refuerzo de este. Para cada porción de cemento existe una cantidad de agua total, todo depende del diseño de mezcla del hormigón. si hay exceso de agua se aumentará la fluidez de la pasta y cumplirá la función de lubricante, permitiendo así la manejabilidad de la mezcla en fresco. En caso de adicionar más agua de la indicada en la relación cemento agua, se generaría el fraguado en el hormigón creando porosidad, y esto además ocasiona una disminución en la resistencia (Gutiérrez de López, 1983).

En construcción se utilizan dos tipos de aguas:

Agua de amasado: Es aquella que participa en las reacciones de hidratación del hormigón y además le confiere a este la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra.

Agua de curado: Es aquella que se añade para compensar las pérdidas de agua por evaporación, adicionalmente permite que se desarrollen nuevos procesos de hidratación (Gutiérrez de López, 1983).

1.2.3 Áridos o agregados

Son el conjunto de granos minerales de distintas dimensiones, los cuales son usados en la fabricación de morteros, hormigones, bases de carreteras y vías férreas. Se calcula que aproximadamente el 80% del volumen del hormigón es ocupado por los áridos. Los áridos deben cumplir con características morfo-fisiológicas como densidad, rugosidad, alargamiento, angulosidad, absorción, y finura, ya que estas brindarán al hormigón resistencia y durabilidad (Van,2018).

Los áridos pueden ser:

- **Áridos gruesos:** Son la materia prima para fabricar el hormigón. Se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor para lograr resistencia. Éstos tienen tamaños intermedios para evitar problemas de segregación; además cuentan con una superficie rugosa, limpia, y sin capa de arcilla.
Los áridos con partículas cúbicas y esféricas son los más usados para el hormigón debido a que tienen mayor resistencia y se disminuye el consumo de cemento ya que hay un mejor acomodamiento de las partículas.
- **Áridos finos:** Son usados para llenar espacios y producir mezclas más compactas, el árido fino o arena se define como la fracción de este que pasa por el tamiz de 4 mm de luz de malla (Girón, 1998).

1.2.4 Aditivos

Son sustancias químicas agregadas a la mezcla de hormigón para controlar sus propiedades de fraguado y se usan principalmente cuando se coloca hormigón durante condiciones ambientales extremas, como temperaturas altas o bajas.

Los aditivos son agregados al hormigón antes del amasado en una proporción menor al 5% del peso del cemento, éstos producen la modificación deseada ya sea en estado fresco o endurecido (Camuñas, 1974).

Los diferentes tipos de aditivos son:

- Reductores de agua / plastificantes: Disminuyen el contenido de agua del hormigón para mejorar la trabajabilidad. Son productos pulverulentos extremadamente finos, e insolubles en agua, como la diatomita, bentonita, puzolanas y cenizas volantes. Se emplean en la fabricación de bloques, bovedilla, tubos, entre los más destacados.
- Reductores de agua de alta actividad / superplastificantes: Disminuyen significativamente el contenido de agua del hormigón sin modificar la trabajabilidad. Generalmente son productos líquidos de naturaleza orgánica conformados por macromoléculas. El más reconocido es el lignosulfonato de calcio y el de sodio. Se emplean para aquellos hormigones que necesiten de una gran calidad estructural y que impliquen una dificultosa aplicación.
- Modificadores de fraguado / aceleradores o retardadores: Modifican el tiempo de fraguado del hormigón. Pueden ser álcalis, carbonatos, sulfato de sodio, o sulfato de potasio. Este tipo de aditivo puede ocasionar corrosión de las armaduras en hormigones que se encuentren en ambientes húmedos.
- Inclusores de aire: Producen en el hormigón un volumen controlado de finas burbujas de aire de 10 a 500 micras de diámetro, que se encuentran uniformemente repartidas, para mejorar su comportamiento frente a los ciclos de congelamiento y deshielo. Son compuestos resinosos o a base de aceites vegetales (Arredondo, 1972).

En los hormigones armados no podrán utilizarse como aditivos el cloruro cálcico, ni productos en cuya composición intervengan cloruros, sulfuros, sulfitos u otros componentes químicos que provoquen corrosión en las armaduras.

Se debe hacer énfasis en las características de cada uno de los componentes del hormigón, debido a que la alteración en las condiciones óptimas de los mismos provocaría pérdidas en la composición y funcionalidad del hormigón.

Según se establece la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE, 2008) “de conformidad con la normativa vigente, y con el fin de garantizar la seguridad de las personas, los animales y los bienes, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente, las estructuras de hormigón deberán ser idóneas para su uso, durante la totalidad del período de vida útil para la que se construye”. En función del tipo de estructura que se trate, la EHE establece el período de vida útil nominal correspondientemente. Además, según la EHE “la durabilidad de una estructura de hormigón es su capacidad para soportar, durante la vida

útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural". En función de la agresividad del ambiente al cual va a ser sometido el material, y de la vida útil de servicio, la EHE instituye los recubrimientos mínimos que garantizan las exigencias de durabilidad de las estructuras.

1.3 OTROS COMPUESTOS QUE SE ENCUENTRAN EN LAS MATERIAS PRIMAS:

1.3.1 Óxido de magnesio

Se encuentra principalmente en las calizas como dolomita o en el caso de las escorias de alto horno. El óxido de magnesio se combina hasta un 2% en las fases iniciales del clinker; el exceso ya aparece como periclasa (forma minera del óxido de magnesio). La periclasa al ser combinada con el agua se hidrata en una reacción muy lenta. La hidratación del óxido de magnesio lleva consigo un aumento del volumen que podría ocasionar agrietamiento y desintegración del hormigón una vez que está endurecido. El máximo admisible es 5-6% (Sánchez,2001).

1.1.1 Álcalis

Los álcalis que se encuentran presentes en las margas y en las arcillas son los óxidos de sodio (Na_2O) y óxido de potasio (K_2O), en ocasiones también pueden ser aportados por las cenizas del carbón cuando es usado como combustible para la combustión.

En ciertos casos los álcalis reaccionan con agregados que contienen rocas volcánicas y sílice activa, como la tridimita. Esta reacción puede formar fenómenos de expansión debido a los álcalis, provocando así la desintegración del hormigón.

La expansión que se da debido a la presencia de los álcalis se puede evitar controlando su proporción en el hormigón; no debe ser mayor de 0,6%. En el caso de hormigones que contengan escorias, el porcentaje de álcalis puede llegar a 2%.

Como parte de los álcalis no debe eliminarse estos porque se ha comprobado que, en hormigones con ausencia de ellos, la resistencia inicial de la pasta de cemento puede ser anormalmente baja (Gutiérrez de López, 2003).

1.1.2 Óxido de azufre

El azufre se encuentra en casi todas las materias primas para el cemento, en ocasiones está combinado con sulfuro (pirita y marcasita). El azufre en el horno se gasifica en forma de SO_2 y se combina con los álcalis, produciendo así los sulfatos alcalinos gaseosos que suelen depositarse en las partes frías del horno y en la mezcla calizo-arcillosa (Triviño, 1985).

El sulfato alcalino combinado en las fases del Clinker, es ventajoso para la resistencia del cemento. El cemento necesita una cantidad mínima de sulfato cálcico (yeso molido) para así poder regular el tiempo de fraguado, a pesar de esto se ha regulado la cantidad permisible de SO_3 , con el fin de impedir la expansión de los sulfatos. Según las normas NTC los máximos son 3,5% y 4,5%, dependiendo del tipo de cemento (Bernal, 2013).

La acción del ion SO_4^{2-} puede provocar expansiones y fisuraciones del hormigón, debido a la formación de etringita al combinarse con los aluminatos de calcio hidratado (Abdelkader, 2010). Los principales compuestos químicos que están en contacto con el hormigón son el sulfato sódico NaSO_4 y el sulfato magnésico MgSO_4 . El primero reacciona con el hidróxido cálcico para formar sulfato cálcico (yeso). El segundo reacciona con productos hidratados del cemento formando yeso e hidróxido de magnesio (brucita) (Neville, 2004). La aparición de la brucita reduce la permeabilidad del hormigón

1.1.3 Cloruros

El cloro que se encuentra presente en las materias primas, en el horno reacciona con el oxígeno y los álcalis formando cloruros en estado gaseoso, éstos después precipitan y se depositan en el horno. Esto se puede impedir por la desviación de los gases cuando el contenido de cloro es del orden de 0,015% del peso del crudo.

Anteriormente se agregaba cloruros a los cementos con el fin de incrementar su resistencia en la etapa inicial. Cuando se demostró que los cloruros provocan la corrosión de las armaduras de acero se prohibió. El máximo admisible de cloro es de 0,1%/100 mL (Guillem, 2000).

1.1.4 Carbonatos

Para que se produzca el fenómeno de carbonatación se requiere una concentración de CO_2 , que normalmente se encuentra en la atmósfera en una concentración promedio de 0,03% en volumen (300 ppm) (Montani, 2000). Las mayores profundidades de carbonatación han sido encontradas en zonas de mayor concentración de CO_2 , como lo

pueden ser algunas zonas urbanas y/o industriales (Khunthongkeaw et al, 2006).

1.4 ENVEJECIMIENTO DEL HORMIGÓN

El término envejecimiento hace referencia para cambios en el desempeño de los materiales con el pasar del tiempo. El envejecimiento acelerado simula las variaciones del clima a las que están sometidas las diferentes muestras de materiales de construcción en un periodo de tiempo determinado. A continuación, se muestra la cámara de simulación climática empleada, la cual simula las condiciones climáticas de la ciudad de Quito (Pazos, 2018).



Figura 1. Cámara de simulación climática



Figura 2. Panel de control de la cámara de simulación climática



Figura 3. Bandejas con muestras de hormigón dentro de la cámara de simulación climática

1.5 ANÁLISIS GRAVIMÉTRICOS

Los análisis gravimétricos determinan la cantidad de un analito presente en una muestra, eliminando todas las sustancias interferentes y obteniendo el componente deseado de composición definida. Los parámetros para analizar serán humedad, pérdida por calcinación, sulfatos, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxido de hierro y óxido de sílice. Para el análisis de humedad se utiliza una mufla y se realiza el método por secado. Para la pérdida por calcinación se coloca a la muestra a 900 °C en la mufla. En la determinación de sulfatos se hace una reacción de precipitación empleando cloruro de bario para obtener sulfato de bario. En el caso del óxido de calcio, éste precipita como oxalato de calcio, se trata en caliente con una solución de ácido clorhídrico con oxalato de amonio y se neutraliza con hidróxido de amonio, con el filtrado restante se puede determinar el óxido de magnesio, el cual precipita como fosfato de magnesio. La determinación gravimétrica del hierro implica la precipitación del hidróxido de hierro en medio básico, mientras que el análisis de óxido de sílice requiere de una disolución en ácido clorhídrico, y finalmente al filtrado se lo lleva a calcinación a 800 °C.

1.6 ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

La técnica instrumental de espectroscopia de absorción atómica se basa en la absorción de radiación, el instrumento forma un vapor atómico el cual provoca que las partículas se exciten por un haz de radiación electromagnética de una longitud de onda específica proveniente de una fuente de radiación cuyo cátodo corresponde al mismo elemento a analizar (Razmilic, 2006)

ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (EAA)

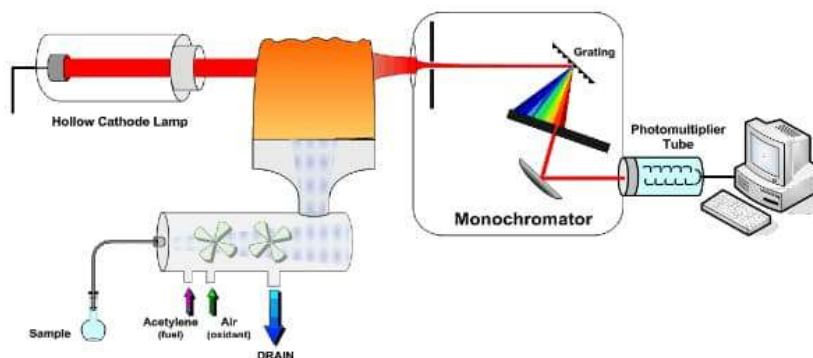


Figura 4. Esquema del equipo de absorción atómica

1.6.1 Ley de Lambert-Beer

Esta ley explica que la trayectoria de la luz o radiación es constante y el coeficiente de absorción es característico para cada elemento, y se establece una relación proporcionalmente directa entre la absorción de la luz de una sustancia con su concentración (Skoog, 2001).

1.6.2 Transmitancia

Se define como la relación que existe entre un haz de luz de salida (P) y un incidente (P₀) una vez que ha atravesado un medio que tiene un espesor b en cm y una concentración de c de una especie absorbente (Skoog, 2001).

Se expresa como:

$$T = \frac{P}{P_0}$$

Donde:

T= Transmitancia

P= Intensidad de la luz de los estándares

P₀= Intensidad de la luz del blanco

La transmitancia se expresa como porcentaje de transmitancia:

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100$$

1.6.3 Absorbancia

Se define como el logaritmo negativo de la transmitancia, la absorbancia aumenta al aumentar la concentración de la muestra o estándar.

$$A = -\log T = -\log \frac{P}{P_0}$$

La absorbancia es proporcional a la concentración de la sustancia que absorbe la radiación, se obtiene lo siguiente:

$$A = a \times b \times c$$

Donde:

A= Absorbancia

a= constante de proporcionalidad de cada sustancia denominada absorptividad

b= espesor del medio que atraviesa la radiación

c= concentración de la sustancia que absorbe luz

Si la concentración se expresa en molaridad y el espesor en cm, la absorptividad se denomina como absorptividad molar y se representa por el símbolo ϵ (Skoog, 2001). Ésta tiene como unidades $L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ y la ecuación se define como:

$$A = \epsilon \times b \times c$$

1.6.4 Instrumentación

Los instrumentos para espectrometría de absorción atómica constan de una fuente de radiación, un soporte de muestra, un selector de longitud de onda, y detector y un procesador de señal y lectura. El soporte de muestra en los equipos de absorción atómica es la celda del atomizador que contiene la muestra gaseosa atomizada.

Fuente de Radiación: Los métodos de absorción son específicos debido a que las líneas de absorción son muy estrechas (0,002 a 0,005nm) y porque las energías de transición electrónicas son únicas para cada elemento.

Lámparas de cátodo hueco: Es una fuente para la medición de absorción atómica. La lámpara consta de un ánodo de tungsteno y un cátodo cilíndrico sellado en un tubo de vidrio lleno con gas neón a una presión de 1 a 5 torr. El cátodo está construido del metal cuyo espectro se desea obtener.

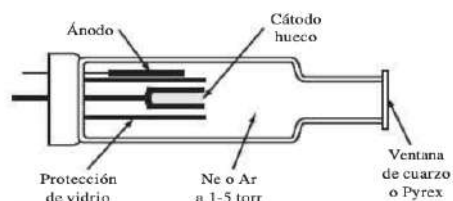


Figura 5. Sección transversal de una lámpara de cátodo hueco

Atomizadores: Se utilizan atomizadores con y sin llama para producir átomos libres del metal en el haz de la radiación. El atomizador con llama está compuesto de un nebulizador y un quemador. La solución de la muestra es convertida primero a un fino aerosol, y luego llevada a la llama que entrega la energía suficiente para evaporar el solvente y descomponer los compuestos químicos resultantes en átomos libres en su estado fundamental. Las mezclas de gases más usados para producir la llama adecuada son: aire/propano, aire/acetileno y óxido nitroso/acetileno.

Monocromador: Es parte del sistema óptico que se encarga de seleccionar la radiación de longitud de onda de interés. El monocromador aísla la longitud de onda deseada y reduce el flujo total de luz que llega al detector.

Detector: Se emplea un fotomultiplicador que produce una corriente eléctrica, la cual es proporcional a la intensidad de la línea aislada por el monocromador. Un amplificador selectivo amplifica la señal pasando luego a un dispositivo de lectura que puede ser un voltímetro digital o un registrador u otros (Skoog, 2001).

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar el grado de deterioro producido por el cambio climático en hormigón simple y armado mediante la exposición de estos materiales a variables como (radiación, temperatura y humedad) en una cámara de simulación climática para establecer la variación de sus propiedades y composición química.

1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar que afectaciones en composición química sufrirán el hormigón simple y el hormigón armado, por variaciones controladas de humedad, temperatura y radiación, propias de la ciudad de Quito, simulando un lapso de 0, 5, 10, 15 y 20 años en una cámara de simulación climática
- Determinar la composición química de cationes y aniones principales del hormigón simple y hormigón armado mediante análisis gravimétricos, volumétricos y espectrofotométricos.
- Comparar el comportamiento de los dos tipos de hormigón en función de los resultados obtenidos en la cámara de simulación climática

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo experimental fue realizado en el laboratorio de la Escuela de Ciencias Químicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

La experimentación realizada es exploratoria, se empleó una cámara de simulación climática en la cual se simuló variaciones del clima en un lapso determinado. El control climático dio resultados en periodos de tiempo cortos ya que 5 años simulados equivalen a 19,25 días, y se realizó la investigación hasta simular 20 años (Pazos, 2018).

Funcionamiento de la cámara de simulación climática:

Funciona en base a ciclos, cada ciclo está conformado de subrutinas en las que se simula valores de humedad, temperatura, radiación y tiempo deseado.

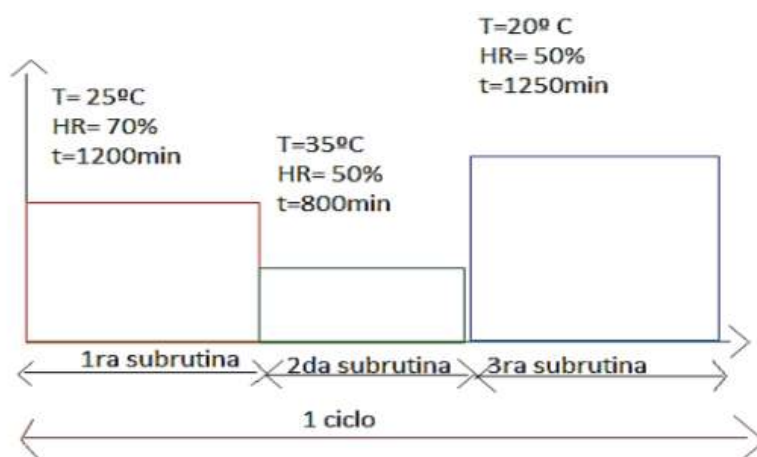


Figura 6. Ejemplo de funcionamiento de la cámara de envejecimiento elaborado por Pazos, 2018.

El ciclo está conformado por tres subrutinas con temperaturas y humedades constantes durante un periodo de tiempo, en la primera subrutina la cámara de envejecimiento se encuentra a 25°C , con humedad relativa de 70% por 1200 minutos, en la segunda subrutina la temperatura aumenta a 35°C con humedad relativa de 50% por 800 minutos, y la última subrutina a una temperatura de 20°C con humedad de 50% por 1250 minutos (Pazos, 2018).

El software de la cámara permite elegir el número de ciclos de acuerdo con la simulación del tiempo requerido. La cámara de envejecimiento trabaja con todas las lámparas generadoras de radiación a distintos porcentajes, si se trabaja con el 100% de la capacidad

de las lámparas se genera una radiación de 4050 w/m^2 , y en base a este porcentaje se logra determinar el número de ciclos y subrutinas a simular. Se debe mencionar que la radiación sometida en la cámara de envejecimiento se compara con valores estadísticos de radiación en distintos periodos de tiempo (Pazos, 2018).

Para determinar los datos meteorológicos de la simulación se utilizó un software llamado Solver, el cual fue desarrollado por el Ing. José Alarcón en colaboración con la PUCE. El software puede proyectar variables como radiación solar, temperatura, heliofanía y partículas menores a 2,5 mm.

El software tiene como referencias datos de tres estaciones del INHAMI y del Municipio de Quito con la estación del Camal, Belisario y Carapungo, se escogieron estas estaciones debido a la confiabilidad y cantidad que proporcionaban los datos. El software se basa en la interdependencia de variables y en ecuaciones meteorológicas (Alarcón, 2017).

Solver es un programa que puede proyectar las variables enunciadas anteriormente, en el caso de la cámara de envejecimiento sólo se logra proyectar la radiación, heliofanía y temperatura. A continuación, se menciona las ecuaciones utilizadas en el software.

- Ecuación óptima de heliofanía: $y = -14.32 \ln(t) + 176.46$ correlación de 0,5865 (Alarcón, 2017).
- Ecuación óptima de temperatura: $y = -0.0016t^2 + 0.18085t + 12.704$ correlación de 0,5595 (Alarcón, 2017).
- Ecuación óptima de radiación: $y = 47.916 \ln(t) + 292.67$ correlación de 0,7263 (Alarcón, 2017).

El software adicionalmente plantea la correlación de la radiación con la heliofanía y la temperatura mediante la siguiente ecuación:

- $y = (1.344)H + (72.397)T + (1283.482)$ (Alarcón, 2017).

Finalmente para la recopilación de los datos que arrojó el software se eligió un año base al 2016 y un año límite al 2036, y se calculó la carga de radiación por horas de sol anual con la cual se obtuvo una carga de radiación cada 5 años, que sirvió para obtener la referencia de simulación.

Las muestras de hormigón simple y hormigón armado fueron obtenidas en el marco del proyecto “Definición de los principales impactos ambientales generados por el cambio climático que afectarían los materiales de construcción en proyectos de Ingeniería Civil, aplicación piloto en la ciudad de Quito, Ecuador” el cual fue realizado en la Facultad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.



Figura 7. Muestra de cilindro de hormigón armado

2.1 MUESTREO

Se tomaron 5 cilindros hechos de hormigón simple y 5 de hormigón armado los cuales fueron obtenidos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Fueron colocados en una cámara de simulación climática en la cual fueron modificados los niveles de humedad, temperatura y radiación. Por medio del software Solver se determinó que un tiempo de 19,25 días corresponden a una exposición ambiental de 5 años (Pazos, 2018).

Simulación en cámara de control climático			
Número de ciclos	9		
Número de subrutinas	2		
DATOS DE SUBRUTINAS			
SUBRUTINAS	Temperatura °C	Humedad %	Tiempo(min)
1ra subrutina	35	65	2880
2da subrutina	15	60	200
Tiempo de experimentación			
Tiempo para 5 años simulados	19,25	días	
Tiempo para 10 años simulados	38,5	días	
Tiempo para 15 años simulados	57,75	días	
Tiempo para 20 años simulados	77	días	
Tiempo de experimentación	2,6	meses	

Figura 8. Resumen de ciclos, secuencias, y tiempo usados para la experimentación de la cámara de simulación climática

2.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras de hormigón simple y hormigón armado tenían forma de cilindros, por lo tanto, se procedió a pulverizarlas usando una lima de metal, luego se las homogenizó y cuartearon manualmente con el fin de tener resultados representativos, se las etiquetó y finalmente se las guardó en tubos cónicos Falcon en un lugar seco y fresco.

Los análisis fueron realizados por triplicado para cada parámetro.

2.3 EQUIPOS

- Balanza Analítica Mettler Toledo, ML 204. Precisión 0,0001 g
- Cámara de simulación climática BIOBASE BJPX-A450
- Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, AAnalyst 400
- Estufa Memmert Modelo SM 200
- Humidificador ultrasónico YADU
- Mufla
- Pipeta 10-100 μ L CAPP
- Pipeta 100-1000 μ L Pipette
- Pipeta de 1-5 mL CAPP
- Plancha de calentamiento MS 100

2.4 MATERIALES

- Agitadores de vidrio
- Balones de aforo de 25 mL, 50 mL y 100 mL
- Brazo ajustable con muelle
- Buretas de 50 mL
- Cápsulas de porcelana
- Crisoles de 50 mL con tapas
- Desecador de sílica gel
- Embudos de vidrio
- Erlenmeyers de 100 mL
- Espátulas metálicas
- Goteros plásticos
- Papel filtro con porosidad media
- Pera de succión
- Piceta
- Pipeta graduada

- Pipeta volumétrica
- Pinzas para vaso
- Pinzas de crisol
- Probetas de 10 mL, 25 mL, 50 mL y 100 mL
- Soporte universal
- Vasos de precipitación 50 mL, 100 mL, 250 mL y 400 mL
- Vidrios de reloj
- Triángulos de porcelana
- Trípode
- Tubos cónicos Falcon 50 mL

2.5 REACTIVOS

- Ácido clorhídrico grado reactivo
- Ácido nítrico grado reactivo
- Aire 99,9 puro
- Acetileno 99,9 puro
- Anaranjado de metilo
- Carbonato de calcio
- Cloruro de amonio grado reactivo
- Cloruro de bario
- Cloruro de cesio
- Cloruro de sodio
- Dicromato de potasio
- Estándar de calcio 1000 µg/mL marca AccuStandard, Inc.
- Estándar de hierro 1000 µg/mL marca AccuStandard, Inc.
- Estándar de magnesio 1000 µg/mL marca AccuStandard, Inc.
- Estándar de sodio 1000 µg/mL marca AccuStandard, Inc.
- Estándar de potasio 1000 µg/mL marca AccuStandard, Inc.
- Fosfato de amonio
- Hidróxido de amonio
- Nitrato de amonio
- Nitrato de plata
- Oxalato de amonio
- Óxido de lantano
- Rojo de metilo

2.6 DETERMINACIÓN GRAVIMÉTRICA

Los análisis gravimétricos determinan la cantidad de un analito presente en una muestra, eliminando todas las sustancias interferentes y obteniendo el componente deseado de composición definida. Los procedimientos para la determinación de humedad, pérdida por calcinación, óxido de sílice, óxido de hierro, óxido de calcio y óxido de magnesio se han realizado bajo la norma ASTM C150/C150M (American Society for Testing and Materials).

2.6.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

- Pesar 1 g de muestra en una cápsula de porcelana.
- Secar la muestra en una estufa hasta que toda el agua se haya evaporado a 105 °C por 1 hora.
- Enfriar la muestra en un desecador de sílica gel.
- Volver a pesar la muestra inmediatamente.
- Cálculos:

$$\% \text{humedad} = \frac{(\text{cápsula+muestra}) - (\text{cápsula+muestra seca})}{\text{peso muestra}} \times 100$$

2.6.2 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA POR CALCINACIÓN

- Pesar 2,5 g de muestra en un crisol de porcelana previamente tarado.
- Colocar en una mufla a 950 °C.
- Enfriar en un desecador de sílica gel.
- Volver a pesar la muestra inmediatamente.
- Cálculos:

$$\% \text{pérdida por calcinación} = \frac{(\text{crisol+muestra}) - (\text{crisol+muestra calcinada})}{\text{peso muestra}} \times 100$$

2.6.3 DETERMINACIÓN DE SILICATOS

- Pesar en un vaso de 50 mL 0,5 g de muestra en una balanza analítica.
- Añadir 0,5 g de cloruro de amonio y mezclar.
- Adicionar 5 mL de ácido clorhídrico concentrado por la pared del vaso.
- Cubrir el vaso con un vidrio de reloj.
- Adicionar 2 gotas de ácido nítrico concentrado.
- Agitar la mezcla con una varilla de vidrio sobre una plancha de calentamiento por 40 minutos a 80 °C.
- Filtrar el contenido en un embudo empleando papel filtro de poro mediano.

- Enjuagar el papel filtro, la varilla y el vaso con ácido clorhídrico caliente (1:99) por tres veces.
- Lavar el papel filtro con agua caliente por tres veces, asegurándose de que haya drenado todo el lavado anterior.
- Transferir el papel filtro a un crisol previamente tarado.
- Calcinar a una temperatura de 1100 °C por una hora.
- Enfriar en un desecador de sílica gel.
- Pesar.
- Cálculos:

$$\%SiO_4^{4-} = \frac{(\text{Peso crisol con residuo} - \text{Peso crisol})}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

2.6.4 DETERMINACIÓN DE ÓXIDO DE HIERRO

- Pesar en un vaso de 100 mL 1 g de muestra, y agregar 10 mL de agua.
- Añadir 1 mL de ácido nítrico concentrado y calentar hasta ebullición.
- Adicionar agua caliente hasta aproximadamente 50 mL.
- Añadir lentamente y con agitación constante hidróxido de amonio concentrado hasta la formación del precipitado.
- Agitar la mezcla y calentar hasta ebullición durante uno o dos minutos.
- Dejar sedimentar el precipitado.
- Filtrar inmediatamente por decantación a través de un papel filtro de poro mediano.
- Lavar el precipitado varias veces con porciones de disolución caliente de nitrato amónico al 1%.
- Disolver el precipitado contenido en el papel filtro, dejando gotear alrededor del papel una disolución hirviente de HCl 1:5; utilizar unos 25 mL aproximadamente.
- Lavar el papel con porciones de HCl 1:99 caliente y finalmente con agua caliente hasta alcanzar unos 75 mL.
- Colocar el papel filtro con el precipitado en un crisol de porcelana tarado.
- Calcinar a una temperatura de 1100 °C por una hora.
- Enfriar en un desecador de sílica gel.
- Pesar.
- Cálculos:

$$\%Fe_2O_3 = \frac{(\text{Peso crisol con residuo} - \text{Peso crisol})}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

$$\%Fe = \frac{(\text{Peso crisol con residuo} - \text{Peso crisol}) \times \text{Peso molecular Fe} \times 100}{\text{Peso molecular Fe}_2\text{O}_3 \times \text{Peso muestra}}$$

2.6.5 DETERMINACIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO

- Pesar 0,5 g de muestra en un vaso de precipitación de 100 mL, y añadir 0,5 g de cloruro de amonio. Agregar 5 mL de ácido clorhídrico concentrado.
- Cubrir el vaso de precipitación con un vidrio reloj y colocarlo en una plancha de calentamiento a 90 °C por una hora. Agitar constantemente.
- Filtrar inmediatamente a través de un papel filtro de poro mediano.
- Lavar los residuos del vaso con ácido clorhídrico 1:99 caliente y después con agua caliente.
- Reunir el filtrado y los líquidos de lavado en un solo recipiente.
- Al filtrado se debe agregar 10 mL de ácido clorhídrico concentrado, 50 mL de oxalato amónico caliente y unas gotas de indicador rojo de metilo.
- Mantener la disolución a una temperatura próxima a la ebullición y añadir hidróxido de amonio 1:4 hasta que el indicador vire de rosáceo a amarillo débil.
- Dejar en reposo el precipitado formado por cinco minutos.
- Filtrar por decantación a través de un papel filtro de poro mediano. Lavar por tres o cuatro veces con una solución caliente de oxalato de amonio al 1%.
- Calentar 25 mL de ácido clorhídrico 1:4 y disolver el precipitado contenido en el filtro, lavar el papel varias veces con ácido clorhídrico 1%, si no se disuelve todo el precipitado del filtro, añadir unas gotas de ácido clorhídrico concentrado.
- Diluir la solución a 200 mL aproximadamente, y añadir 30 mL de oxalato de amonio frío. Calentar la solución a 90 °C y añadir hidróxido de amonio gota a gota hasta viraje.
- Dejar reposar la solución por una hora. Filtrar a través de un papel filtro de poro mediano. Pasar el precipitado al filtro y lavar con agua fría hasta que las últimas porciones del lavado estén exentas del ion oxalato.
- Guardar el filtrado obtenido para la determinación de óxido de magnesio.
- Colocar el papel filtro con el precipitado en un crisol de porcelana tarado.
- Calcinar a una temperatura de 1100 °C por una hora.
- Enfriar en un desecador de sílica gel.
- Pesar.
- Cálculos:

$$\%CaO = \frac{(\text{Peso crisol con residuo} - \text{Peso crisol})}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

$$\%Ca = \frac{(\text{Peso crisol con residuo} - \text{Peso crisol}) \times \text{Peso molecular Ca} \times 100}{\text{Peso molecular CaO} \times \text{Peso muestra}}$$

2.6.6 DETERMINACIÓN DE ÓXIDO DE MAGNESIO

- Acidificar con ácido clorhídrico concentrado el filtrado obtenido en la determinación del óxido de calcio.
- Colocar la solución en una plancha de calentamiento y evaporar por ebullición hasta 250 mL.
- Enfriar la solución a temperatura ambiente.
- Agregar 10 mL de fosfato dibásico de amonio y 30 mL de hidróxido de amonio.
- Agitar constantemente la solución durante la adición de hidróxido de amonio.
- Dejar en reposo la solución por ocho horas en ambiente frío.
- Filtrar a través de un papel filtro de poro mediano. Lavar el residuo con hidróxido de amonio 1:20 por cinco o seis veces.
- Colocar el papel filtro con el precipitado en un crisol de porcelana tarado.
- Calcinar a una temperatura de 1100 °C por una hora.
- Enfriar en un desecador de sílica gel.
- Pesar como pirofosfato de magnesio.
- Cálculos:

$$\%MgO = \frac{(\text{Peso crisol con residuo} - \text{Peso crisol}) \times 2 \times \text{Peso molecular MgO}}{\text{Peso molecular Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7 \times \text{Peso muestra}} \times 100$$

$$\%Mg = \frac{(\text{Peso crisol con residuo} - \text{Peso crisol}) \times 2 \times \text{Peso Molecular MgO}}{\text{Peso Molecular MgO} \times \text{Peso Molecular Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7 \times \text{Peso de muestra}} \times 100$$

2.6.7 DETERMINACIÓN DE SULFATOS

- Pesar alrededor de 1 g de muestra en un vaso de precipitación de 250 mL.
- Agregar 25 mL de agua destilada y 5 mL de ácido clorhídrico concentrado.
- Calentar por 10 minutos a ebullición suave para acelerar la disolución de la muestra.
- Filtrar la solución a través de un papel filtro de poro mediano, lavar el residuo con tres porciones de agua caliente y descartar el papel filtro con las impurezas.
- Diluir el filtrado a un volumen de 250 mL y volver a hervir la solución.

- Preparar una solución de cloruro de bario 100 g/L y calentar a ebullición.
- Agregar lentamente 10 mL de la solución de cloruro de bario a la solución agitando vigorosamente aún en calentamiento.
- Dejar en reposo por 10 minutos y añadir gotas en exceso de cloruro de bario para asegurar precipitación completa.
- Filtrar el precipitado a través de un papel filtro de poro mediano.
- Lavar el precipitado con 125 mL de agua hirviendo.
- Colocar el papel filtro con el precipitado en un crisol de porcelana tarado.
- Calcinar a una temperatura de 800 °C por una hora.
- Enfriar en un desecador de sílica gel.
- Pesar.

$$\%SO_4^{2-} = \frac{(\text{Peso crisol con residuo} - \text{Peso crisol}) \times \text{Peso molecular } SO_4^{2-}}{\text{Peso molecular } BaSO_4 \times \text{Peso muestra}} \times 100$$

2.7 DETERMINACIÓN VOLUMÉTRICA

Los análisis volumétricos se basan en la determinación del volumen de una disolución patrón de concentración conocida, la cual se utiliza para producir una reacción química completa con el analito, de esta forma se se determina el contenido absoluto del mismo. Los parámetros que se analizaron fueron: cloruros, carbonatos y bicarbonatos.

2.7.1 DETERMINACIÓN DE CLORUROS

- Preparar una solución 0,1 N de nitrato de plata.
- Preparar una solución 0,1 N de cloruro de sodio.
- Valorar la solución de nitrato de plata con la solución de cloruro de sodio. Utilizar como indicador una solución de cromato de potasio.
- Pesar 5 g de muestra pulverizada y agregar 50 mL de agua.
- Agitar y calentar bajo el punto de ebullición por una hora.
- Filtrar a través de un papel filtro de poro mediano.
- Al filtrado se debe colocar unas gotas de la solución indicadora de cromato de potasio.
- Lavar, homogenizar, llenar y encerar la bureta con la solución de nitrato de plata.
- Titular la muestra con el goteo de la solución de nitrato de plata hasta la aparición de un precipitado café rojizo que indica el punto de equivalencia.
- Anotar el volumen ocupado del nitrato de plata y realizar los cálculos para el porcentaje de cloruro de sodio en la muestra.

- Cálculos:

$$\%Cl^- = \frac{(C) AgNO_3 \times Fc \times Volumen AgNO_3 \times Peso Molecular Cl^- \times Volumen Aforo}{1000 \times Volumen Alicuota \times Peso de la Muestra} \times 100$$

Donde:

C= concentración nitrato de plata

Fc= factor de corrección

2.7.2 DETERMINACIÓN DE CARBONATOS Y BICARBONATOS

- Secar 2,5 g de muestra en una estufa a 110°C durante una hora.
- Enfriar en un desecador.
- Pesar 1 g de muestra y transferir a un matraz de 100 mL.
- Disolver la muestra en 80 mL de agua destilada.
- Agitar y calentar bajo el punto de ebullición a 80°C por una hora.
- Filtrar a través de un papel filtro de poro mediano.
- Transferir el filtrado a un balón de 100 mL, aforar y agitar por inversión.
- Tomar una alícuota de 20 mL en un Erlenmeyer.
- Agregar dos gotas de anaranjado de metilo.
- Valorar con ácido clorhídrico 0,1 M hasta viraje a un color naranja rojizo para Carbonatos.
- Tomar otra alícuota de 20 mL en un Erlenmeyer.
- Agregar 20 mL de hidróxido de sodio 0,1 M y 10 mL de una solución de cloruro de bario al 10%.
- Agregar 3 gotas de fenolftaleína.
- Realizar una retrotitulación con ácido clorhídrico 0,1 M.
- Realizar un blanco con 20 mL de agua, 20 mL de la base y 10 mL de cloruro de bario al 10%.
- El exceso de ácido empleado corresponde a los Bicarbonatos.
- Cálculos:

$$\% Alcalinidad Total = \frac{(C) HCl \times Fc \times Volumen HCl \times 2 \times PM CO_3^{2-} \times Volumen aforo}{1000 \times Volumen alicuota \times Peso de la muestra} \times 100$$

Donde:

C= concentración ácido clorhídrico

Fc= factor de corrección

$$\% \text{HCO}_3^- = \frac{(\text{C}) \text{ HCl} \times \text{Fc} \times V_{\text{HCIT}} \times \text{PM HCO}_3^- \times \text{Volumen aforo}}{1000 \times \text{Volumen alicuota} \times \text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Donde:

V_{HCIT} = Volumen HCl empleado por la muestra - Volumen empleado por el blanco

$$\% \text{CO}_3^{2-} = \% \text{Alcalinidad Total} - \% \text{Bicarbonatos}$$

2.8 DETERMINACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICA

Se empleó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer AAnalyst 400 para la identificación y cuantificación de los siguientes cationes: hierro, sodio, potasio, calcio y magnesio. Se realizaron muestras por triplicado para asegurar resultados.

2.8.1 DETERMINACIÓN DE CATIONES USANDO UN ESPECTOFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

- Pesar 1 g de muestra en un vaso de precipitación de 100 mL.
- Agregar 20 mL de agua desionizada y agitar con una varilla de vidrio.
- Añadir 5 mL de ácido clorhídrico concentrado
- Diluir a 50 mL
- En una plancha de calentamiento colocar las soluciones y calentar por 20 minutos.
- Enfriar y filtrar a través de un papel filtro de poro mediano.
- Lavar el papel por tres veces con agua caliente.
- Aforar la solución usando un balón de 100 mL con agua desionizada.
- Si es necesario realizar diluciones.
- Leer en el equipo de absorción atómica.
 - Realizar curvas de calibración para cada metal a partir de estándares de sodio, potasio, calcio, magnesio y hierro.
 - Para la preparación de muestras y estándares de sodio y potasio añadir cloruro de cesio y en el caso de muestras y estándares de calcio y magnesio añadir óxido de lantano para así poder eliminar interferencias de ionización.

Preparación del óxido de lantano:

- Pesar 5,8650 g del óxido de lantano (La_2O_3) en un vaso de 100 mL.
- Añadir 25 mL de ácido clorhídrico concentrado grado reactivo.
- Añadir 2 mL de ácido nítrico concentrado libre de metales.
- Aforar a 50 mL.

Preparación del cloruro de cesio:

- Pesar 2 g del reactivo (CsCl) en un vaso de 100 mL.
- Disolver en agua destilada.
- Aforar hasta un volumen de 100 mL.

$$\%C = \frac{C \times \text{factor de dilución} \times \text{volumen de aforo} \times \text{peso de la muestra}}{1000 \text{ mL} \times 1 \text{ g}}$$

Donde:

%C= Concentración mg/g

C= Concentración dada por el equipo

Curvas de Calibración

Tabla 1. Concentración de los estándares para la curva de calibración de hierro.

Estándar	Concentración
1	0,3 mg/L
2	1,0 mg/L
3	3,0 mg/L
4	5,0 mg/L

Tabla 2. Concentración de los estándares para la curva de calibración de calcio.

Estándar	Concentración
1	0,5 mg/L
2	1,0 mg/L
3	2,0 mg/L
4	4,0 mg/L

Tabla 3. Concentración de los estándares para la curva de calibración de magnesio.

Estándar	Concentración
1	0,25 mg/L
2	0,5 mg/L
3	0,75 mg/L
4	1,0 mg/L
5	1,25 mg/L

Tabla 4. Concentración de los estándares para la curva de calibración de sodio.

Estándar	Concentración
1	0,100 mg/L
2	0,125 mg/L
3	0,250 mg/L
4	0,500 mg/L

Tabla 5. Concentración de los estándares para la curva de calibración de potasio.

Estándar	Concentración
1	0,125 mg/L
2	0,250 mg/L
3	0,500 mg/L
4	0,750 mg/L
5	1,000 mg/L
6	1,125 mg/L

Tabla 6. Condiciones instrumentales del equipo de absorción atómica.

Metales	Parámetros			
	Longitud de onda λ (nm)	Energía de la lámpara	Comburente	Combustible
Hierro	302,06	80	Aire	Acetileno
Calcio	422,67	66	Aire	Acetileno
Magnesio	202,58	21	Aire	Acetileno
Sodio	589,00	86	Aire	Acetileno
Potasio	766,49	95	Aire	Acetileno

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1 RESULTADOS DE HUMEDAD

Tabla 7. Valores experimentales de la determinación de humedad de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).

Muestra	H1%	H2%	H3%	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	2,40	2,09	2,02	2,17	0,20
Hormigón Simple año 5	3,07	3,32	3,72	3,37	0,33
Hormigón Simple año 10	2,68	2,79	2,87	2,78	0,09
Hormigón Simple año 15	2,14	2,58	2,39	2,37	0,22
Hormigón Simple año 20	2,74	3,11	3,09	2,98	0,21
Hormigón Armado año 0	1,30	1,09	1,25	1,21	0,11
Hormigón Armado año 5	1,45	1,61	1,50	1,52	0,08
Hormigón Armado año 10	2,38	2,53	2,02	2,31	0,26
Hormigón Armado año 15	2,27	2,39	2,30	2,32	0,06
Hormigón Armado año 20	2,38	2,28	2,16	2,27	0,11

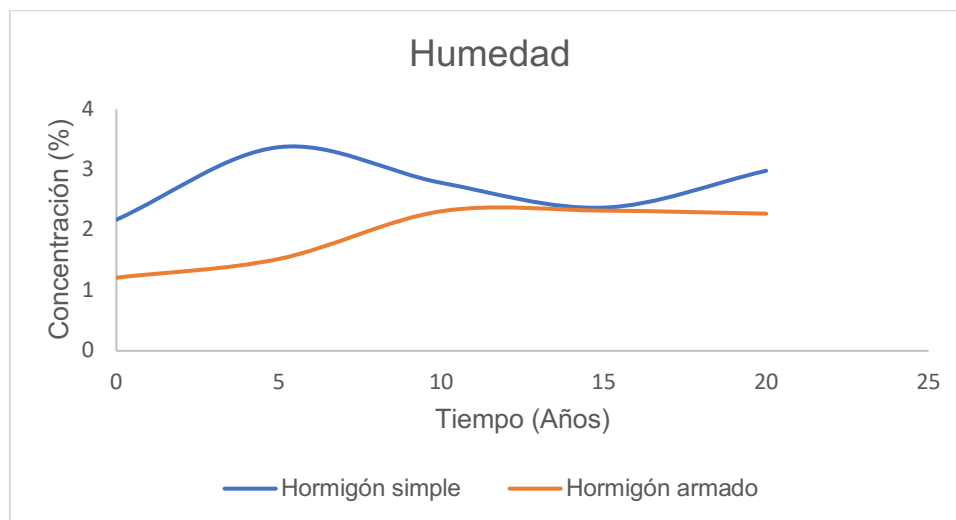


Figura 9. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de humedad en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

3.2 RESULTADOS DE PÉRDIDA POR CALCINACIÓN

Tabla 8. Valores experimentales de la determinación de pérdida por calcinación de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).

Muestra	H1%	H2%	H3%	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	10,09	9,53	9,93	9,85	0,29
Hormigón Simple año 5	9,30	8,95	9,08	9,11	0,18
Hormigón Simple año 10	9,00	8,94	8,99	8,98	0,03
Hormigón Simple año 15	8,72	8,41	9,14	8,75	0,37
Hormigón Simple año 20	9,06	8,29	7,64	8,33	0,71
Hormigón Armado año 0	8,62	9,37	9,02	9,00	0,37
Hormigón Armado año 5	9,08	8,76	8,75	8,86	0,19
Hormigón Armado año 10	8,65	8,19	8,03	8,29	0,32
Hormigón Armado año 15	7,80	7,21	7,32	7,44	0,31
Hormigón Armado año 20	8,18	8,09	8,33	8,20	0,12

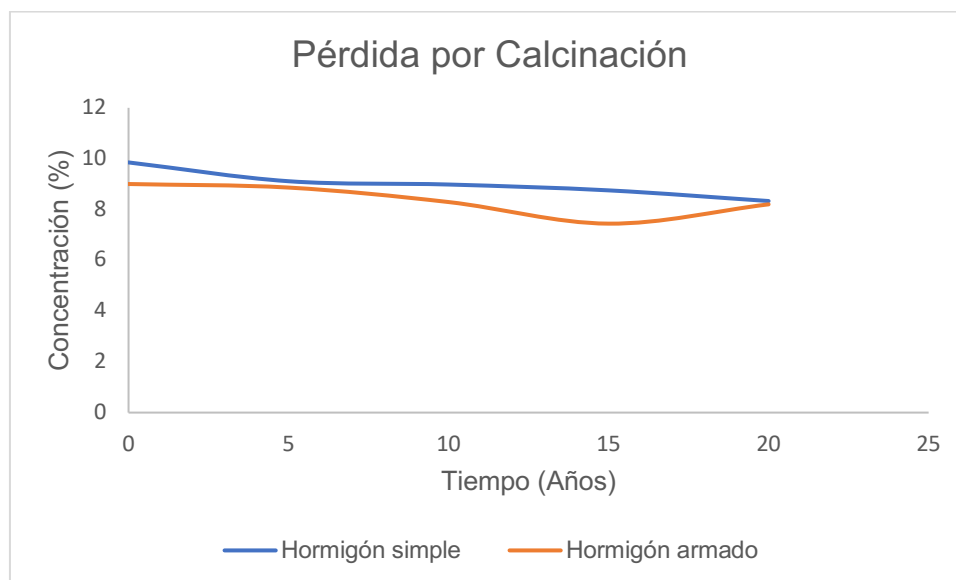


Figura 10. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de pérdida por calcinación en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

3.3 RESULTADOS DE ANIONES

Tabla 9. Valores experimentales de la determinación de silicatos de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).

Muestra	H1%	H2%	H3%	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	67,43	65,85	67,15	66,81	0,85
Hormigón Simple año 5	64,54	66,48	64,18	65,07	1,24
Hormigón Simple año 10	73,10	71,08	72,88	72,35	1,11
Hormigón Simple año 15	77,89	77,94	77,24	77,69	0,39
Hormigón Simple año 20	78,64	78,75	80,58	79,32	1,09
Hormigón Armado año 0	72,11	72,64	72,88	72,54	0,39
Hormigón Armado año 5	74,68	74,14	75,85	74,89	0,88
Hormigón Armado año 10	75,20	75,36	76,94	75,83	0,96
Hormigón Armado año 15	77,18	77,69	76,91	77,26	0,40
Hormigón Armado año 20	76,90	78,32	76,72	77,31	0,87

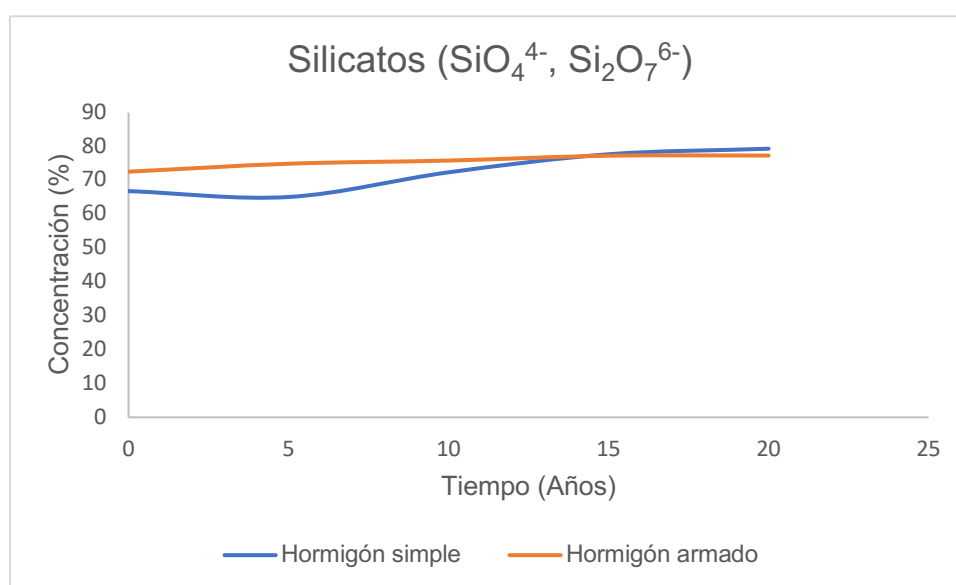


Figura 11. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de silicatos en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

Tabla 10. Valores experimentales de la determinación de sulfatos de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).

Muestra	H1%	H2%	H3%	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	0,56	0,61	0,64	0,60	0,04
Hormigón Simple año 5	0,96	0,98	0,99	0,98	0,02
Hormigón Simple año 10	0,97	1,08	1,15	1,07	0,09
Hormigón Simple año 15	1,18	1,13	1,19	1,17	0,04
Hormigón Simple año 20	1,15	1,28	1,17	1,20	0,07
Hormigón Armado año 0	0,69	0,68	0,67	0,68	0,01
Hormigón Armado año 5	0,79	0,74	0,72	0,75	0,03
Hormigón Armado año 10	0,95	0,99	1,03	0,99	0,04
Hormigón Armado año 15	1,04	1,10	1,02	1,05	0,04
Hormigón Armado año 20	1,62	1,60	1,52	1,58	0,05

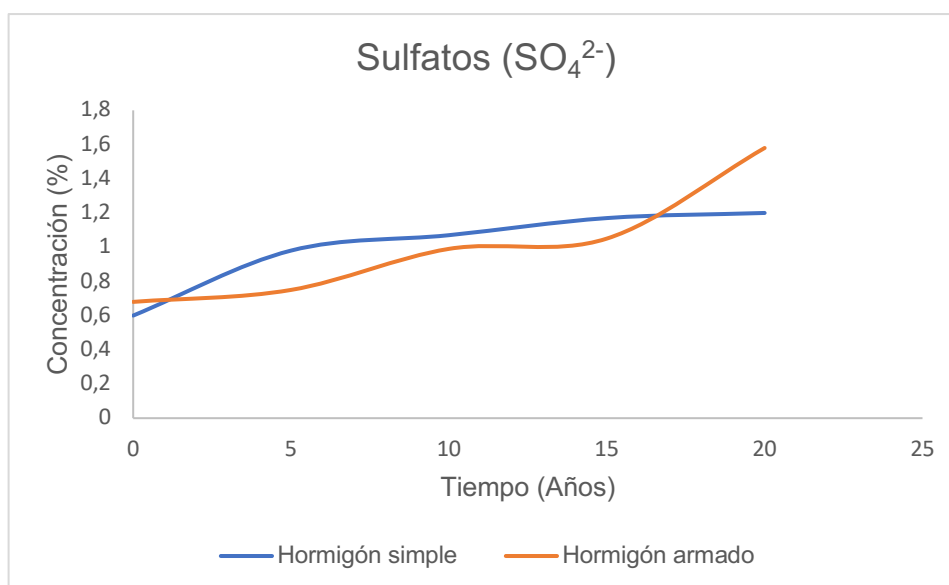


Figura 12. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de sulfatos en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

Tabla 11. Valores experimentales de la determinación de cloruros de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).

Muestra	H1%	H2%	H3%	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	0,15	0,16	0,15	0,15	0,01
Hormigón Simple año 5	0,16	0,15	0,15	0,15	0,01
Hormigón Simple año 10	0,20	0,18	0,15	0,18	0,03
Hormigón Simple año 15	0,20	0,20	0,16	0,19	0,02
Hormigón Simple año 20	0,20	0,18	0,16	0,18	0,02
Hormigón Armado año 0	0,18	0,16	0,20	0,18	0,02
Hormigón Armado año 5	0,18	0,20	0,18	0,19	0,01
Hormigón Armado año 10	0,18	0,20	0,21	0,20	0,02
Hormigón Armado año 15	0,16	0,20	0,16	0,18	0,02
Hormigón Armado año 20	0,15	0,18	0,20	0,18	0,03

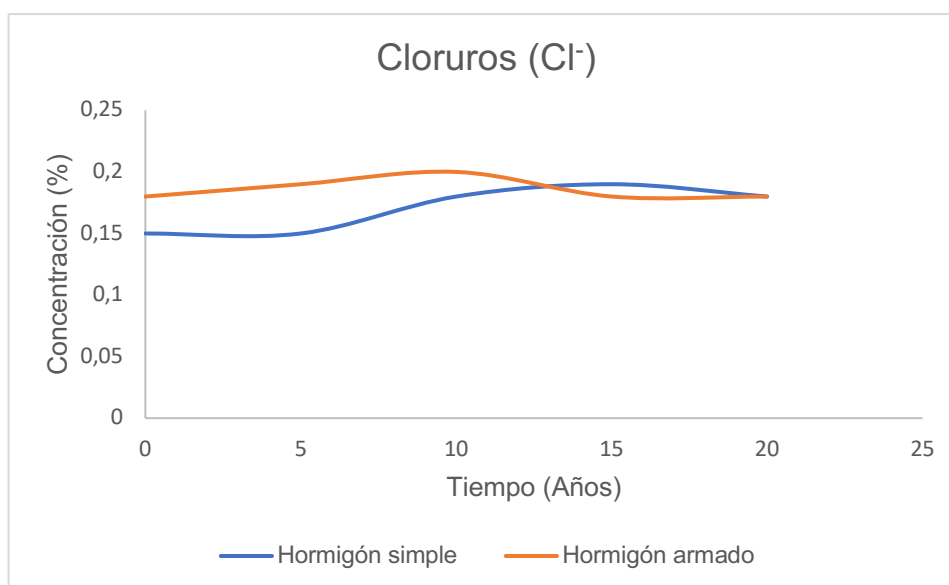


Figura 13. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de cloruros en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

Tabla 12. Valores experimentales de la determinación de carbonatos de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).

Muestra	H1%	H2%	H3%	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	0,27	0,45	0,27	0,33	0,10
Hormigón Simple año 5	0,39	0,42	0,51	0,44	0,06
Hormigón Simple año 10	0,45	0,45	0,48	0,46	0,01
Hormigón Simple año 15	0,33	0,42	0,19	0,31	0,11
Hormigón Simple año 20	0,19	0,28	0,57	0,34	0,20
Hormigón Armado año 0	0,42	0,33	0,15	0,30	0,14
Hormigón Armado año 5	0,19	0,19	0,28	0,22	0,05
Hormigón Armado año 10	0,45	0,36	0,24	0,35	0,10
Hormigón Armado año 15	0,21	0,33	0,36	0,30	0,08
Hormigón Armado año 20	0,36	0,45	0,21	0,34	0,12

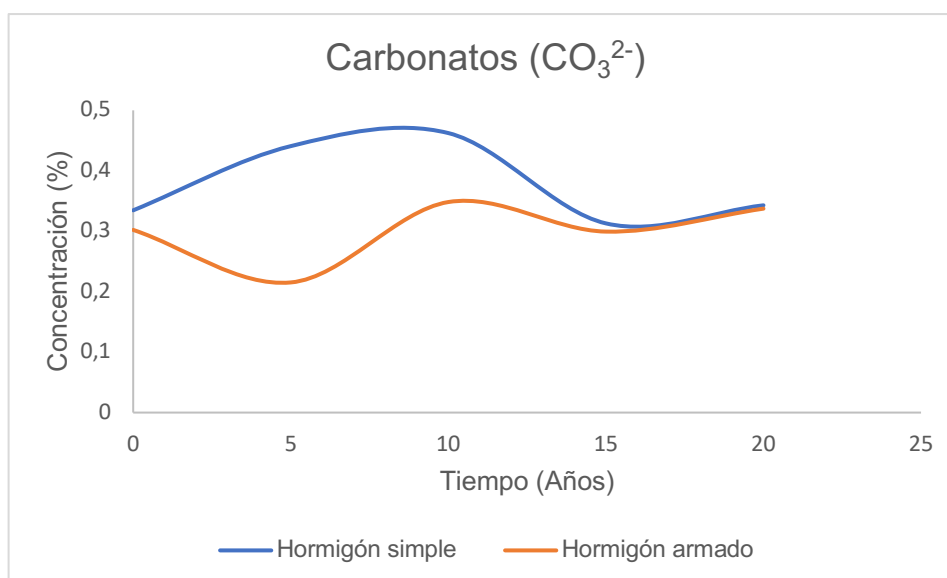


Figura 14. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de carbonatos en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

Tabla 13. Valores experimentales de la determinación de bicarbonatos de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).

Muestra	H1%	H2%	H3%	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	1,43	1,26	1,44	1,37	0,10
Hormigón Simple año 5	1,44	1,35	1,26	1,35	0,09
Hormigón Simple año 10	1,26	1,25	1,34	1,28	0,05
Hormigón Simple año 15	1,43	1,35	1,52	1,43	0,09
Hormigón Simple año 20	1,52	1,44	1,25	1,40	0,14
Hormigón Armado año 0	1,35	1,43	1,61	1,46	0,14
Hormigón Armado año 5	1,52	1,52	1,43	1,49	0,05
Hormigón Armado año 10	1,43	1,52	1,52	1,49	0,05
Hormigón Armado año 15	1,61	1,43	1,52	1,52	0,09
Hormigón Armado año 20	1,52	1,43	1,61	1,52	0,09

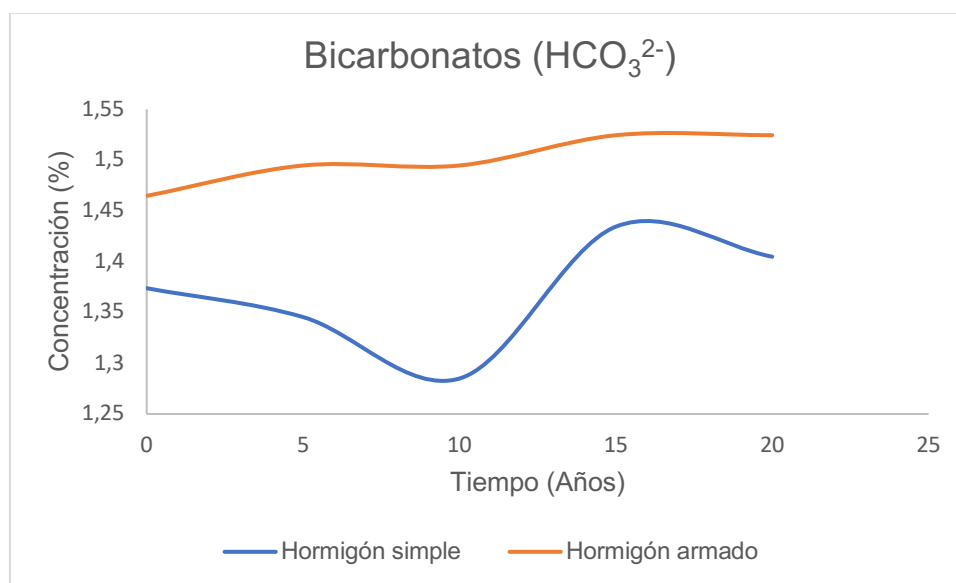


Figura 15. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de bicarbonatos en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

3.4 RESULTADOS DE ÓXIDOS

Tabla 14. Valores experimentales de la determinación de óxido de hierro de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).

Muestra	H1%	H2%	H3%	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	0,80	0,94	0,92	0,89	0,08
Hormigón Simple año 5	1,48	1,82	1,90	1,73	0,22
Hormigón Simple año 10	2,85	3,04	3,20	3,03	0,17
Hormigón Simple año 15	4,32	4,56	4,77	4,55	0,23
Hormigón Simple año 20	5,69	5,21	5,55	5,48	0,25
Hormigón Armado año 0	2,08	2,22	2,48	2,26	0,20
Hormigón Armado año 5	4,80	4,73	4,56	4,70	0,12
Hormigón Armado año 10	5,89	5,98	5,20	5,69	0,43
Hormigón Armado año 15	6,35	6,45	6,72	6,51	0,19
Hormigón Armado año 20	7,50	7,15	7,03	7,23	0,25

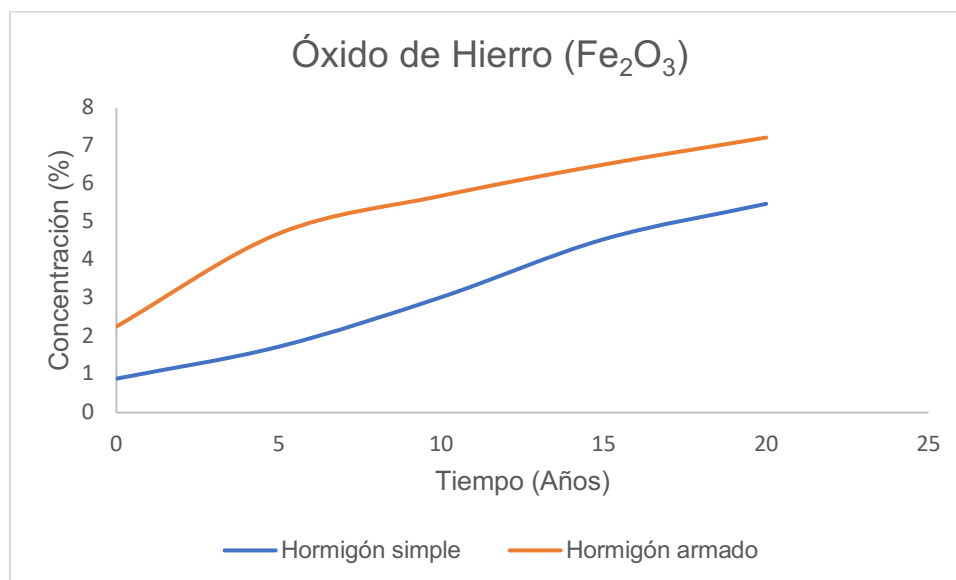


Figura 16. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de óxido de hierro en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

Tabla 15. Valores experimentales de la determinación de óxido de calcio de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).

Muestra	H1%	H2%	H3%	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	7,19	6,39	7,31	6,96	0,50
Hormigón Simple año 5	7,67	7,61	7,27	7,52	0,22
Hormigón Simple año 10	8,52	8,59	8,60	8,57	0,04
Hormigón Simple año 15	9,58	9,56	9,60	9,58	0,02
Hormigón Simple año 20	9,99	10,46	10,34	10,26	0,25
Hormigón Armado año 0	6,25	6,00	6,15	6,13	0,13
Hormigón Armado año 5	7,04	8,21	8,11	7,79	0,65
Hormigón Armado año 10	8,70	8,67	8,65	8,67	0,03
Hormigón Armado año 15	10,52	10,31	9,97	10,27	0,28
Hormigón Armado año 20	11,70	11,71	11,58	11,67	0,07

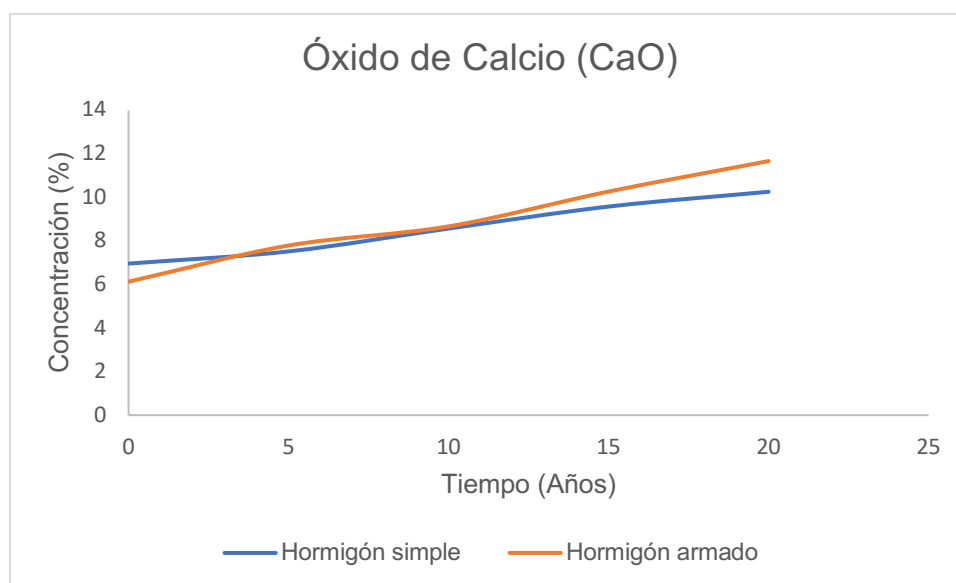


Figura 17. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de óxido de calcio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

Tabla 16. Valores experimentales de la determinación de óxido de magnesio de las muestras de hormigón simple y hormigón armado envejecidos (0, 5, 10, 15 y 20 años).

Muestra	H1%	H2%	H3%	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	0,51	0,50	0,48	0,50	0,01
Hormigón Simple año 5	1,01	1,03	1,06	1,03	0,03
Hormigón Simple año 10	1,68	1,69	1,65	1,67	0,02
Hormigón Simple año 15	1,89	1,85	1,88	1,87	0,02
Hormigón Simple año 20	1,98	1,99	2,02	2,00	0,02
Hormigón Armado año 0	0,51	0,56	0,52	0,53	0,02
Hormigón Armado año 5	0,69	0,69	0,71	0,70	0,01
Hormigón Armado año 10	1,09	1,05	0,90	1,02	0,10
Hormigón Armado año 15	1,39	1,32	1,20	1,31	0,10
Hormigón Armado año 20	1,54	1,64	1,53	1,57	0,06

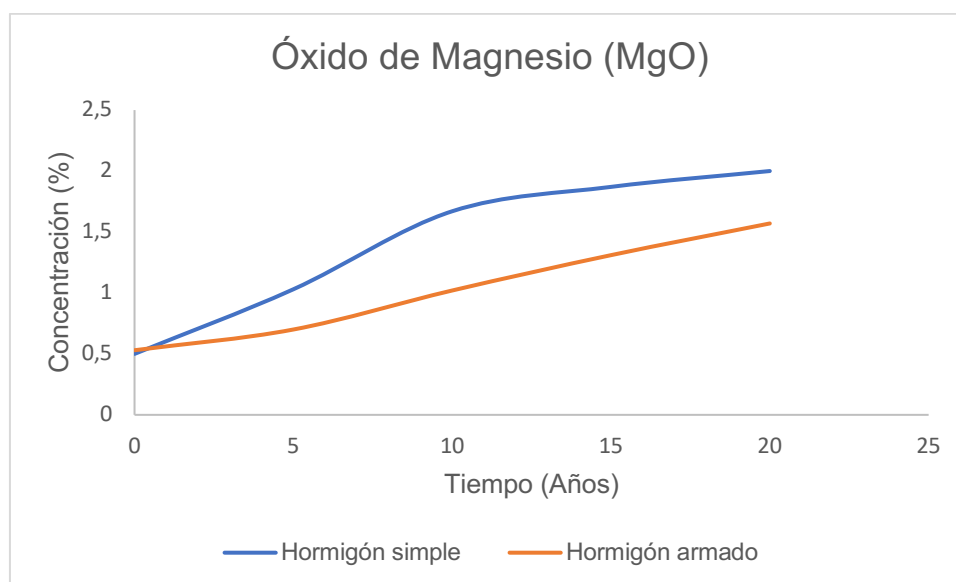


Figura 18. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de óxido de calcio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

3.5 RESULTADOS ABSORCIÓN ATÓMICA

Tabla 17. Curva de Calibración del hierro

Concentración del estándar (mg/L)	Absorbancia (A)
0,3	0,0041
1,0	0,0148
3,0	0,0417
5,0	0,0709

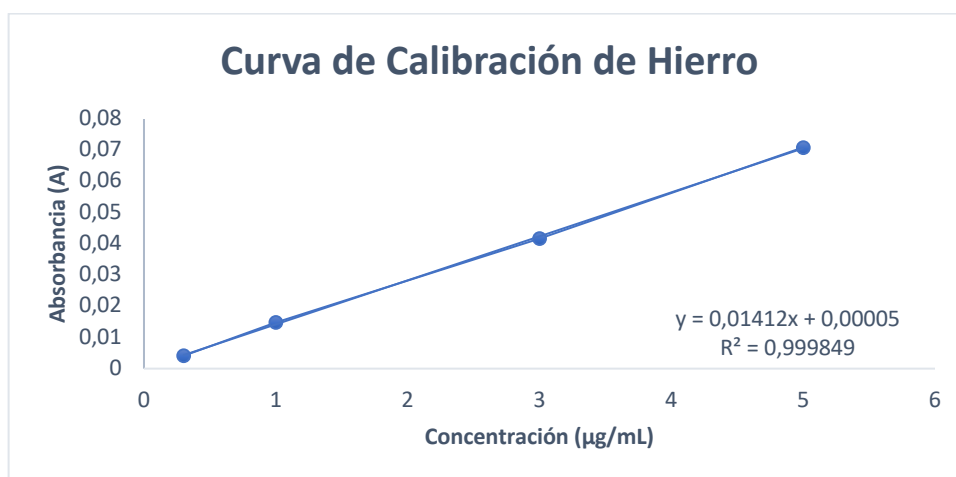


Figura 19. Curva de calibración de hierro

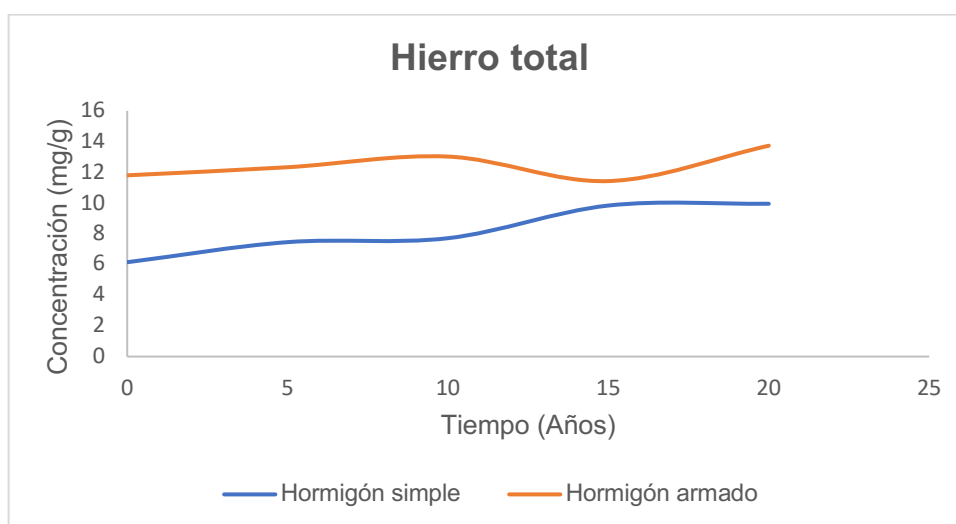


Figura 20. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de hierro en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

Tabla 18. Valores experimentales de la determinación de hierro por absorción atómica.

Muestra	H1 Concentración (mg/g)	H2% Concentración (mg/g)	H3% Concentración (mg/g)	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	6,14	6,14	6,15	6,14	0,01
Hormigón Simple año 5	7,56	7,50	7,30	7,45	0,14
Hormigón Simple año 10	7,89	7,66	7,58	7,71	0,16
Hormigón Simple año 15	9,99	9,76	9,76	9,84	0,13
Hormigón Simple año 20	9,94	9,97	9,96	9,96	0,01
Hormigón Armado año 0	11,83	11,72	11,86	11,80	0,07
Hormigón Armado año 5	12,28	12,39	12,32	12,33	0,06
Hormigón Armado año 10	12,92	13,07	13,09	13,03	0,09
Hormigón Armado año 15	11,43	11,45	11,40	11,43	0,03
Hormigón Armado año 20	13,79	13,75	13,65	13,73	0,07

Tabla 19. Curva de Calibración del calcio.

Concentración del estándar ($\mu\text{g/mL}$)	Absorbancia (A)
0,5	0,0382
1,0	0,0631
2,0	0,1143
4,0	0,2123

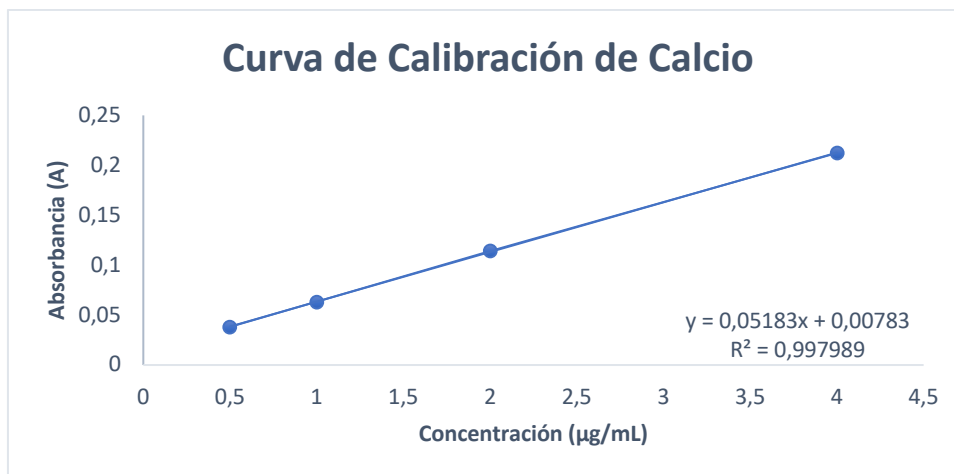


Figura 21. Curva de calibración de calcio

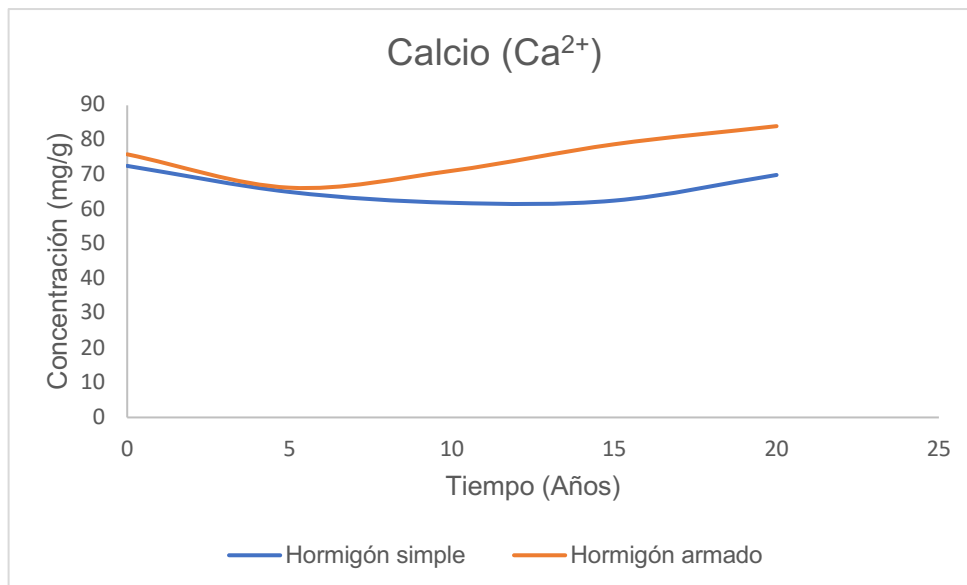


Figura 22. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de calcio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

Tabla 20. Valores experimentales de la determinación de calcio por absorción atómica.

Muestra	H1 Concentración (mg/g)	H2% Concentración (mg/g)	H3% Concentración (mg/g)	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	72,30	72,72	72,60	72,54	0,22
Hormigón Simple año 5	65,04	64,74	65,29	65,02	0,28
Hormigón Simple año 10	61,80	61,68	62,20	61,89	0,27
Hormigón Simple año 15	62,56	62,71	62,33	62,53	0,19
Hormigón Simple año 20	69,39	70,12	70,27	69,93	0,47
Hormigón Armado año 0	75,88	76,23	75,53	75,88	0,35
Hormigón Armado año 5	66,34	66,29	66,09	66,25	0,15
Hormigón Armado año 10	71,30	71,15	70,92	71,12	0,19
Hormigón Armado año 15	78,39	78,84	79,09	78,78	0,35
Hormigón Armado año 20	83,92	84,02	84,06	84,00	0,07

Tabla 21. Curva de calibración del magnesio.

Concentración del estándar ($\mu\text{g/mL}$)	Absorbancia (A)
0,25	0,0143
0,5	0,0256
0,75	0,0454
1,0	0,0726
1,25	0,0822

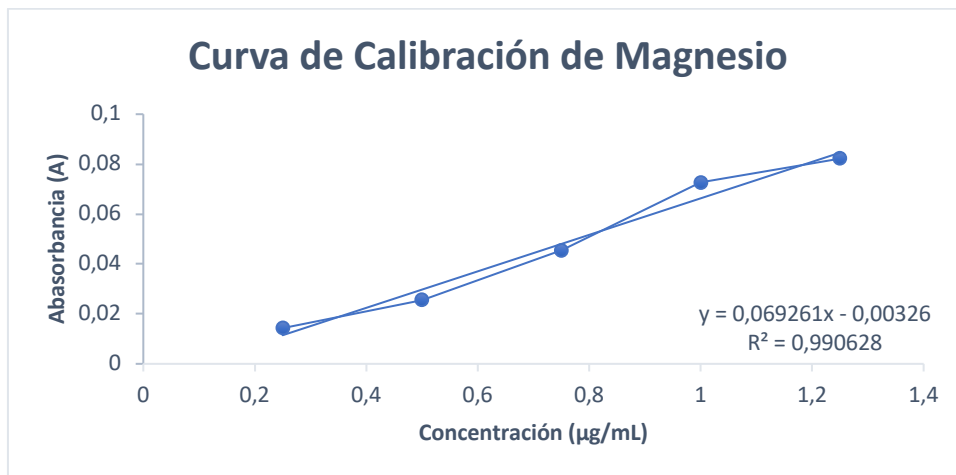


Figura 23. Curva de calibración de magnesio

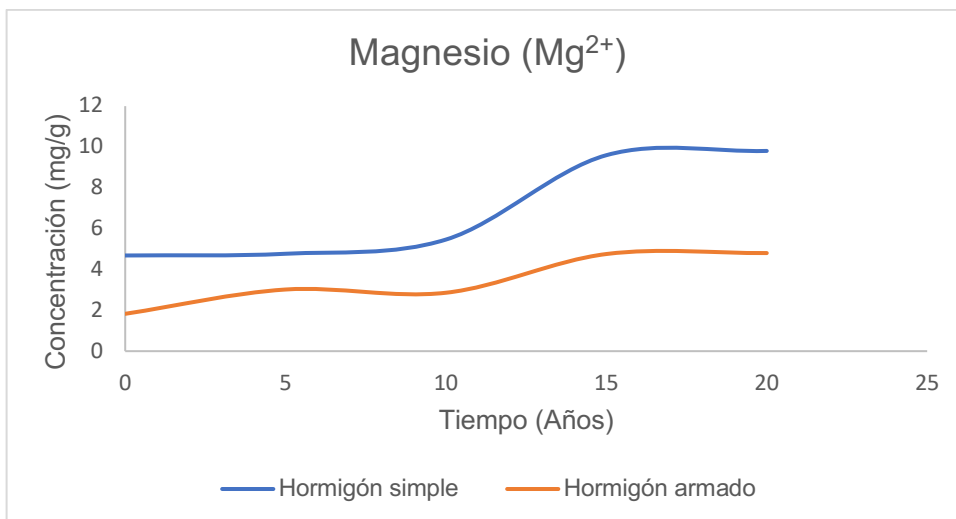


Figura 24. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de magnesio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

Tabla 22. Valores experimentales de la determinación de magnesio por absorción atómica.

Muestra	H1 Concentración (mg/g)	H2% Concentración (mg/g)	H3% Concentración (mg/g)	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	3,67	5,54	4,84	4,68	0,94
Hormigón Simple año 5	3,00	5,62	5,69	4,77	1,53
Hormigón Simple año 10	5,98	5,20	5,23	5,47	0,44
Hormigón Simple año 15	9,61	9,48	9,71	9,60	0,12
Hormigón Simple año 20	9,77	9,85	9,80	9,81	0,04
Hormigón Armado año 0	1,45	2,37	1,67	1,83	0,48
Hormigón Armado año 5	2,40	4,17	2,50	3,02	0,99
Hormigón Armado año 10	2,15	3,09	3,34	2,86	0,63
Hormigón Armado año 15	4,92	4,80	4,55	4,76	0,19
Hormigón Armado año 20	4,51	4,94	4,96	4,80	0,25

Tabla 23. Curva de Calibración del sodio

Concentración del estándar ($\mu\text{g/mL}$)	Absorbancia (A)
0,100	0,1
0,125	0,1
0,250	0,2
0,500	0,4

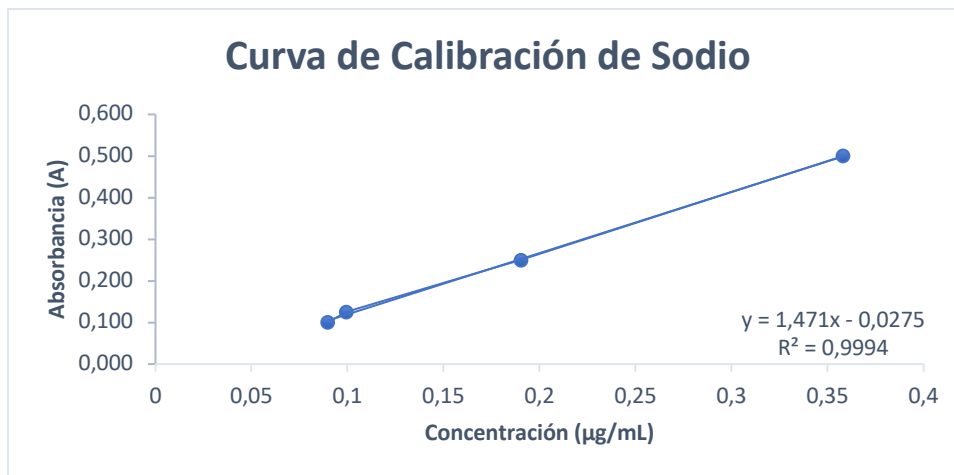


Figura 25. Curva de calibración de sodio

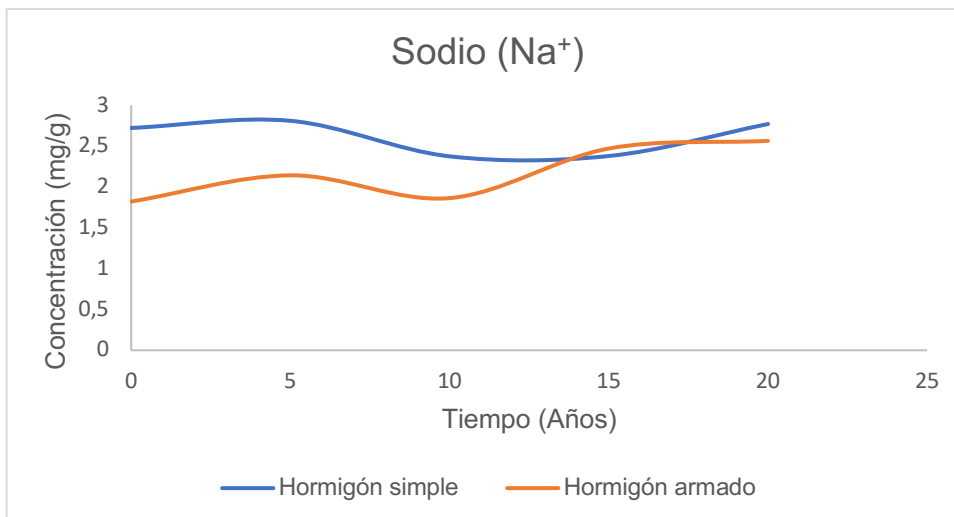


Figura 26. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de sodio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

Tabla 24. Valores experimentales de la determinación de sodio por absorción atómica.

Muestra	H1 Concentración (mg/g)	H2% Concentración (mg/g)	H3% Concentración (mg/g)	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	2,75	2,70	2,72	2,72	0,03
Hormigón Simple año 5	2,87	2,79	2,77	2,81	0,05
Hormigón Simple año 10	2,40	2,36	2,36	2,37	0,02
Hormigón Simple año 15	2,46	2,35	2,33	2,38	0,07
Hormigón Simple año 20	2,80	2,76	2,75	2,77	0,03
Hormigón Armado año 0	1,92	1,78	1,76	1,82	0,09
Hormigón Armado año 5	2,15	2,15	2,13	2,14	0,01
Hormigón Armado año 10	1,93	1,83	1,82	1,86	0,06
Hormigón Armado año 15	2,49	2,46	2,46	2,47	0,02
Hormigón Armado año 20	2,56	2,61	2,53	2,57	0,04

Tabla 25. Curva de Calibración del potasio

Concentración del estándar (mg/L)	Absorbancia (A)
0,125	0,0924
0,250	0,1425
0,500	0,2672
0,750	0,3695
1,000	0,4647
1,125	0,5034

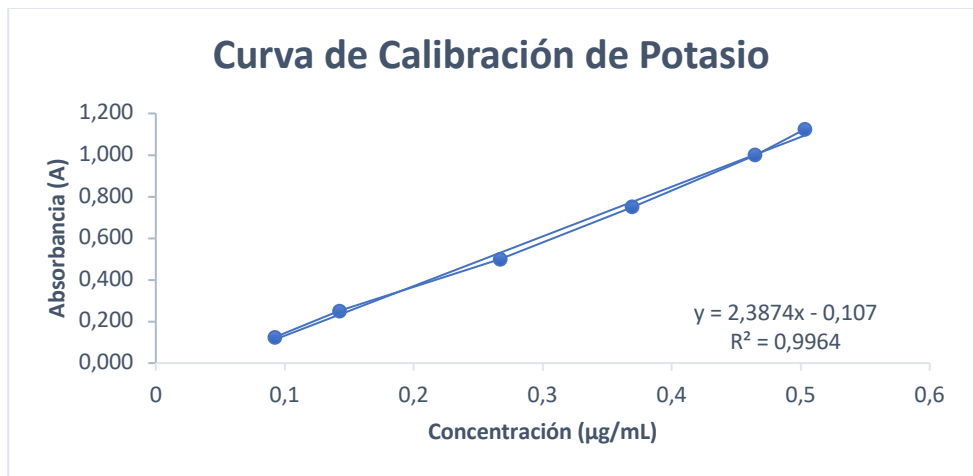


Figura 27. Curva de calibración de potasio

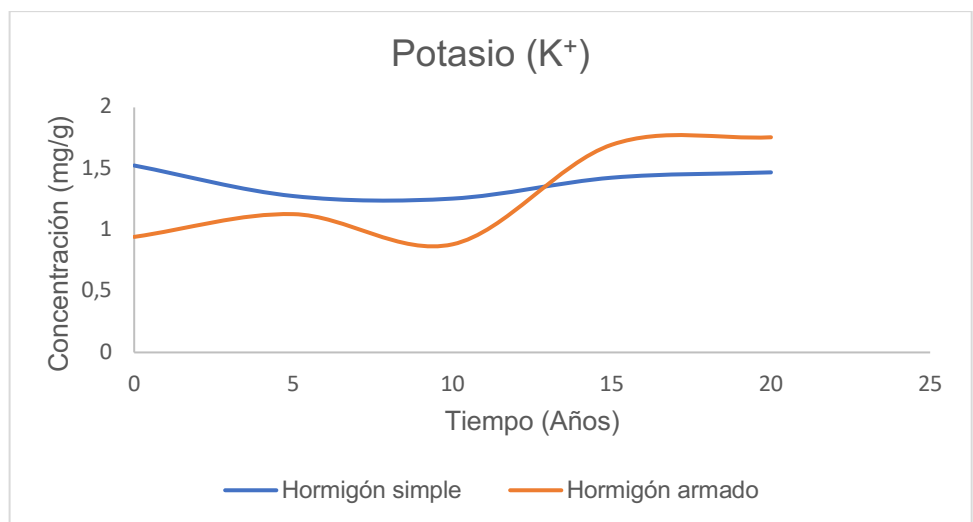


Figura 28. Líneas de tendencia acerca del porcentaje de potasio en los hormigones simples y armados en función del tiempo de envejecimiento.

Tabla 26. Valores experimentales de la determinación de potasio por absorción atómica.

Muestra	H1 Concentración (mg/g)	H2% Concentración (mg/g)	H3% Concentración (mg/g)	\bar{x}	Desviación estándar
Hormigón Simple año 0	1,53	1,50	1,54	1,52	0,02
Hormigón Simple año 5	1,26	1,28	1,29	1,28	0,02
Hormigón Simple año 10	1,26	1,26	1,25	1,26	0,01
Hormigón Simple año 15	1,43	1,43	1,42	1,43	0,01
Hormigón Simple año 20	1,47	1,47	1,46	1,47	0,01
Hormigón Armado año 0	0,92	0,95	0,96	0,94	0,02
Hormigón Armado año 5	1,12	1,14	1,13	1,13	0,01
Hormigón Armado año 10	0,87	0,89	0,89	0,88	0,01
Hormigón Armado año 15	1,68	1,70	1,70	1,69	0,01
Hormigón Armado año 20	1,75	1,76	1,76	1,76	0,01

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

De acuerdo con los valores obtenidos se puede decir que:

Hipótesis nula: El promedio del promedio/porcentaje o concentración de determinado componente no varía significativamente con el paso del tiempo

Hipótesis alternativa: El valor del promedio/porcentaje o concentración de determinado componente si varía significativamente con el paso del tiempo

Si F crítico es mayor que F calculado, se acepta la hipótesis nula.

Tabla 27. Análisis de varianza ANOVA para los componentes que se encuentran presentes en el hormigón simple.

Análisis	Nivel de significancia	F crítico	F calculado	Diferencia significativa
Humedad	5%	3,48	13,73	SI
Pérdida por calcinación	5%	3,48	6,17	SI
Silicatos	5%	3,48	125,36	SI
Sulfatos	5%	3,48	52,44	SI
Cloruros	5%	3,48	2,50	NO
Carbonatos	5%	3,48	1,00	NO
Bicarbonatos	5%	3,48	1,03	NO
Óxido de hierro	5%	3,48	277,69	SI
Óxido de calcio	5%	3,48	78,4	SI
Óxido de magnesio	5%	3,48	3267,52	SI
Hierro	5%	3,48	645,50	SI
Calcio	5%	3,48	722,68	SI
Magnesio	5%	3,48	29,46	SI
Sodio	5%	3,48	74,16	SI
Potasio	5%	3,48	256,66	SI

Tabla 28. Análisis de varianza ANOVA para los componentes que se encuentran presentes en el hormigón armado.

Análisis	Nivel de significancia	F crítico	F calculado	Diferencia significativa
Humedad	5%	3,48	40,51	SI
Pérdida por calcinación	5%	3,48	14,85	SI
Silicatos	5%	3,48	21,15	SI
Sulfatos	5%	3,48	250,72	SI
Cloruros	5%	3,48	0,66	NO
Carbonatos	5%	3,48	0,78	NO
Bicarbonatos	5%	3,48	0,23	NO
Óxido de hierro	5%	3,48	167,15	SI
Óxido de calcio	5%	3,48	132,90	SI
Óxido de magnesio	5%	3,48	114,62	SI
Hierro	5%	3,48	583,78	SI
Calcio	5%	3,48	2248,54	SI
Magnesio	5%	3,48	14,59	SI
Sodio	5%	3,48	132,11	SI
Potasio	5%	3,48	2796,93	SI

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Determinación de la humedad:

El contenido de humedad es uno de los parámetros más importantes con respecto al comportamiento del hormigón simple y armado. Se expresa en porcentaje, y se realiza en la mayoría de los hormigones por la determinación de la pérdida de masa que sufre el material cuando se somete a una combinación tiempo-temperatura adecuada.

En el caso del hormigón el contenido de humedad se define como el porcentaje de agua que se encuentra presente en la mezcla de agregados y en el cemento. Además, la humedad se encuentra en función de la hidratación durante el fraguado.

Se utilizó un humificador ultrasónico el cual provocaba vapor de agua dentro de la cámara de simulación climática, al estar los hormigones sometidos a estas condiciones se esperaba un aumento en el porcentaje de agua en las muestras. Y en efecto como se puede observar en la Tabla 7 los valores de humedad para el hormigón simple oscilan entre 2,17% y 3,37%, mientras que los de hormigón armado van entre 1,21% y 2,27%. Y si se observa la Figura 4 se puede decir que si existió un incremento en ambos casos. Según el análisis estadístico ANOVA expresado en la Tabla 27 y 28 se puede observar que si hubo diferencia significativa en el porcentaje de humedad del hormigón simple y del hormigón armado con el pasar del tiempo.

La radiación y la temperatura elevada son las causantes de la evaporación del agua ocluida en los hormigones; esto puede provocar el crecimiento de poros y rupturas (Joisel, 1981). La porosidad del agregado es una cualidad importante ya que está directamente relacionado con la adherencia y resistencia a la compresión y flexión de las partículas, así como a su comportamiento frente a temperaturas muy bajas, como congelamiento, o deshielo. En este caso la porosidad está asociada a la capacidad de absorción de agua u otro líquido que poseen los agregados. Según el contenido de humedad las partículas que conforman el agregado pueden estar en los siguientes estados que se muestra en la figura 29.

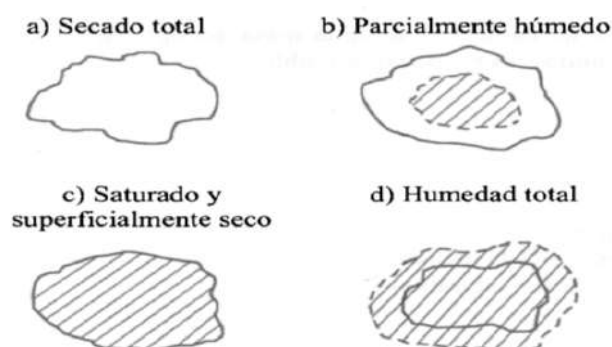


Figura 29. Diferentes estados de saturación del agregado (Gutiérrez de López, 2003).

En la figura a, el agregado se encuentra seco, no posee agua de absorción ni agua libre, solo tiene el agua adsorbida, la cual se obtiene solo cuando el material ha estado en el horno a una temperatura de 110 °C hasta que tenga peso constante. En la figura b, el agregado tiene un porcentaje de humedad, por ende, los poros tienen agua absorbida. En la figura c, el agregado tiene todos los poros saturados, pero está superficialmente seco, esto ocurre cuando el material ha sido sumergido mínimo 24 horas y se seca por sí solo. En la figura d, el agregado está saturado y posee agua libre que da a las partículas una película brillante.

Si se observa un incremento de la humedad en el hormigón se reduce la resistividad, penetración y la difusión de oxígeno de este. Esto afecta al hormigón saturado ya que hace que se vuelva mínima la oxigenación; y en el caso de hormigones expuestos a humedecimiento se pueden corroer fácilmente.

Al presentar estos valores se puede decir que son hormigones que no sufrirán corrosión, y tampoco se verá afectada su resistividad al pasar los años. En este análisis el error sistemático que se puede producir es la pesada en las balanzas analíticas debido al tiempo tomado al realizar las mediciones.

Determinación de pérdida por calcinación:

Seguidamente se presenta el análisis de la pérdida por calcinación del hormigón, la cual se determinó por medio del calentamiento de la muestra en una mufla a 1000 °C hasta que se obtuvo peso constante; se realizó mediante la norma ASTM C114.

En la Tabla 8 se puede observar que a medida que pasan los años de 0, 5, 10, 15 y 20 del hormigón simple hay una disminución muy ligera en cuanto al porcentaje de pérdida por calcinación, mientras que para el hormigón armado se observa que los años 0, 5, 10 y 15 tienden a bajar el porcentaje de pérdida por calcinación; y el año 20 presenta un pequeño aumento. Los porcentajes varían entre el 7,44% y 9,85%, estos valores se consideran relativamente altos ya que los hormigones tanto simple como armado pasaron por un exceso de tiempo de almacenado y además estuvieron en directo contacto con el aire lo cual provocó una prehidratación. El análisis estadístico ANOVA estimó que no existe diferencias significativas en el porcentaje de pérdida por calcinación con el pasar de los años. En la Figura 5 los hormigones presentan una disminución en la pérdida por calcinación, esto quiere decir que los materiales al estar sometidos a la cámara de simulación climática sufren una degradación de CO₂ y H₂O.

El hormigón en general posee buenas propiedades de resistencia al fuego, el hormigón simple y el hormigón armado pueden tener un comportamiento satisfactorio sin emitir gases durante un tiempo relativamente alto, esto se debe a que los agregados gruesos, no presentan mayor dilatación hasta los 500 y 600 °C.

Si existe una pérdida por calcinación elevada, habrá una prehidratación y carbonatación, que pueden ser ocasionadas por un almacenamiento prolongado e inadecuado. Debido a esto la determinación de pérdida por calcinación se utiliza como control en los hormigones ya que puede ser un índice de su meteorización (UTSFM, 2015). Hay casos en que los hormigones se encuentran mal almacenados, es decir en contacto con ambientes húmedos, esto trae consigo una pérdida de calcinación hasta un 1-2% cada año (Triviño, 1985). En el caso de la radiación, ésta puede afectar debido a que produce una foto-degradación de la materia orgánica (Oro,1979).

Determinación de óxido silicatos:

Se determinó el porcentaje de silicatos, los resultados expresados en la Tabla 9 indican que los valores para el hormigón simple varían entre 66,81% y 79,32%, mientras que para el hormigón armado varían entre 72,54% y 77,31% para los años 0, 5, 10, 15 y 20 usando el método gravimétrico por precipitación. Los datos obtenidos para cada año se mantienen constantes debido a que los hormigones presentan gran resistencia en presencia de elevadas temperaturas y de radiación. Los silicatos tienen un gran impacto en la composición de los hormigones, así que cualquier tipo de variación puede afectar de manera significativa el porcentaje de los demás componentes. Debido a esto el análisis estadístico ANOVA indicó que si hay diferencias significativas en el transcurso del envejecimiento.

Para la disolución de las muestras se utilizó ácido clorhídrico, éste también favoreció para limpiar impurezas o interferencias. Para poder separar la sílice se evaporó a sequedad con el ácido clorhídrico que contiene la sílice hidratada coloidal, el residuo se calentó y obtuvo un producto granular, que se separó por filtración.

El silicio es el segundo elemento más abundante del planeta. Es el constituyente común de las rocas ígneas, el cuarzo y la arena. La sílice existe normalmente como óxido (SiO_2 en la arena y como silicato SiO_4^{4-}), puede estar en forma soluble, insoluble y coloidal. Los silicatos son compuestos que contienen sílice unida a óxido de metales y se clasifican según la solubilidad en el ácido clorhídrico.

En los métodos gravimétricos más usuales, que son los de precipitación, el constituyente buscado se separa en forma de una sustancia insoluble en el seno de una disolución, que una vez seco, se pesa directamente o se transforma cuantitativamente en otra que pesa. El éxito del análisis está influido por una serie de exigencias en la forma de pesada y sobre todo en la forma de precipitación. En gravimetría es un error metódico la solubilidad de los precipitados en las aguas madres y el agua de lavado y los fenómenos de coprecipitación.



Figura 30. Análisis gravimétrico para la determinación de sílice

Determinación de sulfatos:

El último anión analizado fue el sulfato. Los sulfatos son las sales del ácido sulfúrico. Contienen un átomo de azufre enlazado por cuatro átomos de oxígeno. Es decir que contienen el anión SO_4^{2-} . Dependiendo del catión al cual se encuentre enlazado se obtendrá una gran variedad de sulfatos. Para determinar sulfatos se emplea el método gravimétrico de precipitación con cloruro de bario.

Se puede observar que en la Tabla 10 el porcentaje de sulfatos obtenido en los años 0, 5, 10, 15 y 20 para el hormigón simple fue de 0,60% a 1,20% y para el hormigón armado fue de 0,68% a 1,58%. El análisis estadístico ANOVA indicó que si hay diferencias significativas en el transcurso del envejecimiento.

En la Figura 7 se observa una tendencia de incremento. En la cámara de simulación climática es muy poco probable el ingreso de dióxido de azufre atmosférico, por ende, los resultados de sulfatos en las muestras son muy bajos.

Para la realización de este análisis es importante la digestión del precipitado ya que esta va purificando al precipitado, y además deja en las aguas madres los iones que lo impurifican. A la vez que se va formando la red cristalina del precipitado, los cristales se perfeccionan, se “suedan”, y forman cristales de mayor tamaño, que presentan mejor filtrabilidad y, además, no ocluyen la trama del filtro (Franco, 2017).

En la filtración se debe utilizar un papel filtro analítico cuantitativo de diámetro apropiado para cada tipo de embudo. El lavado es igual de importante debido a que tiene como objeto liberar al precipitado de las sustancias que los acompañan y que forman como parte de la solución madre. La solución de lavado consiste en una solución diluida de un electrolito que tenga un ion común con el precipitado para minimizar pérdidas por solubilidad; otras veces se lava con agua caliente.

La reacción que ocurre es la siguiente:



El sulfato de bario es el que indica de forma indirecta cuánto de sulfato existe en la muestra original (Figura 31). Si el sulfato está presente, se puede determinar por precipitación con cloruro de bario, calcinación y pesada como sulfato de bario.



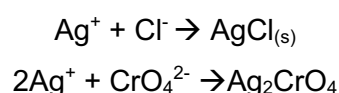
Figura 31. Análisis gravimétrico para la determinación de sulfatos

Los sulfatos se encuentran de manera natural en numerosos minerales (barita, epsomita, tiza, entre otros). Debido a esto y a su elevada solubilidad se encuentran en aguas naturales. Los iones sulfatos, suministrados por aguas residuales, aguas subterráneas o por suelos, se consideran ataques externos, mientras que los aportados por algunos materiales contribuyentes del hormigón, son ataques internos. En algunos casos estos reaccionan con el aluminato tricálcico del hormigón, produciendo así etringita, la cual es una solución expansiva, que aumenta el volumen y origina una rotura de la matriz, lo que conduce a una disminución de la resistencia del hormigón.

Determinación de Cloruros:

Para la determinación de cloruros se aplicó el método de Mohr, el cual consiste en la precipitación del ion cloruro en forma de cloruro de plata, por medio de la valoración con solución de nitrato de plata estándar en presencia de ion cromato en pequeña concentración. El punto final, se señala por la primera aparición perceptible y permanente de un precipitado de cromato de plata de color rojo ladrillo. El cromato de plata se forma por adición de un ligero exceso de nitrato de plata, sólo después que prácticamente ha sido precipitado todo el ion cloruro en forma de cloruro de plata (Skoog, 1997).

Los equilibrios que figuran en este método son los siguientes:



En la Tabla 11 se observa que los valores de cloruros en ambos hormigones son muy bajos ya que presentan porcentajes de 0,15% a 0,18% para el hormigón simple, mientras que para el hormigón armado los porcentajes fueron de 0,18% a 0,20%. En la figura 8 se puede observar que los valores son constantes para los años 0, 5, 10, 15 y 20.

Los cloruros suelen estar en abundancia en el caso de construcciones en zonas costeras, lo cual no es el caso de los hormigones simple y armado ya que estos fueron elaborados

en Quito; por este motivo no se observó diferencias significativas al pasar los años de envejecimiento.

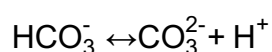
Hay casos en los que los cloruros pueden haberse incorporado al hormigón durante su elaboración, con el agua de amasado si se emplean aguas salobres, con los acelerantes de fraguado, o existen ocasiones en las que se pueden penetrar desde el exterior cuando la estructura está en contacto con medios que los contienen, a través de la red de poros. Los límites permisibles en cuanto a contenido de cloruros en el hormigón que garantizan con suficiente seguridad la ausencia de riesgo de corrosión por picadura en hormigones armados. Se considera como cifra orientativa el 0,4% respecto al peso del cemento Portland, o entre el 0,05% y el 0,1% en relación con el peso del hormigón (Guillem, 2000).



Figura 32. Análisis volumétrico para la determinación de cloruros

Determinación de carbonatos y bicarbonatos:

A continuación, se analizaron los aniones carbonatos y bicarbonatos simultáneamente debido a que se encuentran en equilibrio.

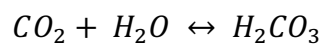


Para la determinación de ambos se empleó el método de Vogel en el cual se debe calcular la alcalinidad total y la cantidad de bicarbonatos, luego por la diferencia de ambos se obtiene el contenido de carbonatos.

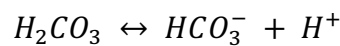
Como se puede observar en la Tabla 12 los valores obtenidos para carbonatos varían entre 0,31% y 0,46% en el caso de los años 0, 5, 10, 15 y 20 del hormigón simple, mientras que para el hormigón armado los valores varían entre 0,22% y 0,35% de igual forma para los años 0, 5, 10, 15 y 20.

Por otro lado, como se muestra en la Tabla 13 los valores para bicarbonatos aumentaron en comparación con los valores de carbonatos, los porcentajes obtenidos para los años 0,

5, 10, 15 y 20 del hormigón simple fueron entre 1,40% y 1,28%, y los porcentajes para las muestras de hormigón armado de los años 0, 5, 10, 15 y 20 variaron entre 1,52% y 1,46%. En las Figuras 9 y 10 se puede observar que tienen diferentes tendencias, en el carbonato se visualiza una disminución a partir del año 10, debido a esto el análisis estadístico ANOVA demuestra que no existen diferencias significativas a medida que pasa el tiempo. En cuanto a los bicarbonatos, éstos aumentan de manera imperceptible en cada año para el hormigón armado, en el caso del hormigón simple también tiene una tendencia de aumento a excepción del año 10 en el que se disminuyó muy poco, y por esta razón el análisis estadístico ANOVA no considera que haya diferencias significativas importantes con el pasar de los años en las muestras de hormigón simple y hormigón armado. Al tener una disminución de carbonatos y un aumento de bicarbonatos se puede decir que hubo un cambio en el pH del medio. Se puede explicar que los iones hidronio (H^+) se hayan impregnado al hormigón por la absorción del dióxido de carbono, y al juntarse con la humedad se puede solubilizar y formar el ácido carbónico (Mook, 2002).



El ácido carbónico libera iones hidronio e iones bicarbonato, y es así que se obtiene la formación de más bicarbonatos.



La cámara de simulación climática se encuentra alrededor de los 30°C y 40°C y la solubilidad es de 1-1,2 g/L, por ende, no va a darse la solubilización.



Figura 33. Análisis volumétrico para la determinación de carbonatos



Figura 34. Análisis volumétrico para la determinación de bicarbonatos

Los carbonatos pueden ocasionar fraguados muy rápidos, mientras que los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones elevadas estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto. Cuando la suma de las sales disueltas exceda 1 ppm, se deberán realizar pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia.

La carbonatación no produce consecuencias en hormigones que no poseen acero de refuerzo. En el caso de los hormigones armados con varillas de acero, el proceso químico avanza lenta y progresivamente hacia el interior de la superficie expuesta del hormigón; y asalta al acero de refuerzo causando la corrosión (Carbonell, 1976). La carbonatación disminuye el pH del hormigón a valores menores a 13; una vez que el pH ha bajado, el ambiente que rodea al refuerzo armado pierde sus propiedades protectoras (capa de óxido) y se desencadena la corrosión del acero. Ya que los valores experimentales obtenidos son menores al 1% se consideran que no sufren de carbonatación.

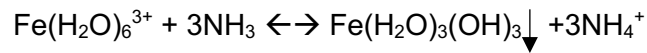
Determinación de óxido de hierro:

La determinación gravimétrica del hierro implica la precipitación del $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ llamado óxido hidratado, seguido de la calcinación del Fe_2O_3 a temperatura elevada. El óxido hidratado es gelatinoso, posee carácter básico débil y puede tener impurezas ocluidas por la gran superficie que presenta. Cuando se sospecha la presencia de impurezas, al precipitado inicial se disuelve en ácido y se vuelve a precipitar. Así la contaminación por oclusión disminuye.

En la Tabla 14 se puede observar que los valores obtenidos para el hormigón simple van de 0,89% a 5,48%, tiende a incrementar a medida que pasan los años de 0, 5, 10, 15 y 20. En cambio los valores que se obtuvieron para el hormigón armado fueron de 2,26% a 7,23%, de igual forma la línea de tendencia sube a medida que pasan los años. Y al observar la Figura 11 se puede ver el incremento de óxido de hierro en el caso del hormigón armado debido a que posee un refuerzo de acero. Se debe tomar en cuenta que dicha

ganancia es considerable y por esto se obtuvo diferencias significativas para los dos tipos de muestras que se indica en las Tablas 27 y 28.

El análisis de hierro por gravimetría en soluciones se basa en la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} , por la acción del hidróxido de amonio NH_4OH se determina la hidrólisis de la sal de hierro según las siguientes ecuaciones químicas:



Durante la calcinación del hidróxido de hierro se pierde agua y se transforma en óxido anhidro. Para mejorar la coagulación del precipitado del precipitado, la coagulación se lleva a cabo en caliente y en presencia de un electrolito de sales de amoníaco. La temperatura de precipitación es el factor más importante para la obtención de un precipitado fácilmente filtrable. Un aumento de temperatura ayuda enormemente a la aglomeración de partículas primarias, por lo que la precipitación se realiza en las cercanías del punto de ebullición, sin hervir más tiempo luego de la precipitación.



Figura 35. Análisis gravimétrico para la determinación de óxido de hierro

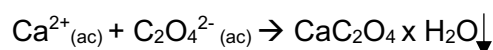
Es importante mencionar que la pérdida de óxidos de hierro puede ocasionar una disminución en la resistencia y dureza del hormigón. esto ocurre debido a que óxido férrico se encuentra en ocasiones en polvo, al tener partículas tan pequeñas se pueden dispersar en el aire (Kozicki, 2019).

Determinación de óxido de calcio:

En la determinación de óxido de calcio la precipitación del calcio ocurre como oxalato distribuido como ácido oxálico $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ y oxalato monobásico $\text{HC}_2\text{O}_2^{2-}$ que saturan total o parcialmente al anion oxalato y al aumentar el pH neutralizan lentamente el ácido y su especie monobásica hasta alcanzar la especie precipitante, oxalato $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, en su máxima concentración y mínima solubilidad de la sal.

En la Tabla 15 se observa que para los años 0, 5, 10, 15 y 20 los porcentajes de óxido de calcio van entre los valores de 6,96% y 10,26%, en la figura se puede visualizar una tendencia en aumento. En el caso del hormigón armado los valores varían entre 6,13% y 11,67% de igual forma para los años 0, 5, 10, 15 y 20. En la figura se observa que el hormigón armado posee más cantidad de óxido de calcio en relación con el hormigón simple, esto puede ocurrir debido a que este óxido también se presenta en forma de polvo y se puede dispersar. En el análisis estadístico ANOVA expresado en la Tabla 27 y 28 se observa que si existió diferencia significativa en el porcentaje de óxido de calcio del hormigón simple y del hormigón armado con el pasar del tiempo.

Es importante alcalinizar con amoníaco una solución ácida que contenga calcio y ácido oxálico (o algún oxalato soluble como el de amonio), ya que se produce la precipitación de calcio en forma de oxalato cálcico monohidratado, el cual es un polvo blanco, fino y poco soluble en agua fría, pero algo soluble en agua caliente, según la reacción:



La pos-precipitación toma lugar después de la precipitación, es decir que se lleva a cabo hasta que todo o casi todo el precipitado principal lo haya hecho, y debido a esto se debe tener cuidado ya que un ejemplo clásico es la pos-precipitación del oxalato de magnesio sobre la superficie del oxalato de calcio (Brown, 1977).

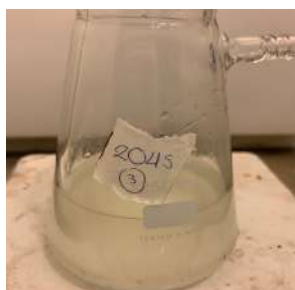


Figura 36. Análisis gravimétrico para la determinación de óxido de calcio

Determinación óxido de magnesio:

Para terminar con los óxidos, se analizó el óxido de magnesio, el cual precipita como pirofosfato, y el óxido se determina por cálculos estequiométricos. Los porcentajes obtenidos se presentan en la Tabla 16, los valores para el hormigón simple varían entre 0,50% y 2,00% y para el hormigón armado 0,53% y 1,53%. Los resultados a medida que pasan los años difieren debido a pérdidas en el precipitado o en la filtración. El óxido de magnesio en presencia de humedad puede formar el hidróxido de magnesio, y éste puede absorber dióxido de carbono, esto puede explicar el porque de la diferencia entre los datos obtenidos. Otro motivo por el cual los valores son distintos entre sí es el error experimental al no remover totalmente las interferencias provenientes de los óxidos de hierro y de calcio.

Determinación de cationes:

Finalmente se analizaron los cationes empleando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Se confirmó que es una técnica que utiliza la mínima cantidad de reactivos y los análisis se realizan en menos tiempo.

Se realizaron curvas de calibración para las cuales se utilizaron estándares con certificados confiables (Anexos 11-15). Los análisis se hicieron por triplicado para obtener resultados que permitan estimar su precisión.

Se obtuvieron coeficientes de correlación próximos a 1, en el caso del hierro fue de 0,9998, en el calcio fue de 0,9979, en el magnesio fue de 0,9906, en el sodio fue de 0,9994 y en el potasio 0,9964. Esto significa que se pudo comprobar que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de las muestras, cumpliéndose así la Ley de Lambert Beer. Una vez obtenidas las funciones lineales se pudo determinar la concentración de las muestras de hormigón simple y hormigón armado.

En el caso de las curvas y muestras de calcio y magnesio se utilizó óxido de lantano para eliminar interferencias de ionización. A pesar de esto las curvas fueron muy inestables a pesar de que se prepararon el mismo día que se iba a utilizar el equipo de absorción atómica.

Para las curvas de sodio y potasio se añadió cloruro de cesio con el mismo fin de eliminar interferencias.

Los análisis de hierro, calcio y magnesio (Figuras 15, 17, 19) tienen tendencias muy parecidas a los análisis gravimétricos ya que estos cationes pueden haber estado en forma de óxido. Se puede explicar que el hierro como óxido se presenta en forma de polvo y se puede desprender con facilidad.

En el caso del sodio y del potasio sólo se realizaron análisis espectrofotométricos, ambos valores se mantienen en su mayoría constantes. Los cationes se pudieron haber encontrado en forma de óxidos o cloruros, los cuales tienen bastante afinidad con el agua.

5. CONCLUSIONES

Las condiciones climáticas a las que se vieron expuestas las muestras de hormigón armado y hormigón simple tienen una incidencia directa en el deterioro de estas. Es claro que los factores climáticos como la radiación, humedad y temperatura pueden llegar a producir cambios en la composición química en los tipos de hormigón estudiados.

Se identificó las afectaciones que sufrieron tanto el hormigón simple como el hormigón armado por medio del uso de una cámara de simulación climática la cual brindó resultados cercanos a la realidad. Entre los cambios más importantes fue el aumento y disminución del porcentaje de humedad. El desplazamiento del equilibrio carbonato-bicarbonato. Y el aumento de óxido de hierro en las muestras de hormigón armado en comparación con el hormigón simple.

El poder simular condiciones climáticas similares a las que se podría tener en el futuro en la Ciudad de Quito permitió estudiar la composición química del hormigón simple y del hormigón armado. Por medio de los análisis gravimétricos, volumétricos y espectrofotométricos se pudo determinar que el envejecimiento del hormigón simple varió de una manera imperceptible en la mayoría de parámetros analizados con respecto al hormigón armado. El análisis que más variación tuvo fue el del óxido de hierro debido a la presencia de un refuerzo de hierro en el hormigón armado.

Se logró comparar el comportamiento de ambos hormigones, para esto se observó que el hormigón simple sufre menos variaciones en su composición química a medida que pasan los años. Con los valores experimentales obtenidos en las muestras de hormigón simple se pudo observar que en la mayoría de los análisis se reportaron porcentajes menores en comparación al hormigón armado.

6. RECOMENDACIONES

Debido a que el Distrito Metropolitano de Quito tiene un clima muy variado en un mismo día, se recomienda seguir con investigaciones con respecto al envejecimiento para estudiar la afectación del clima sobre el hormigón. Esto puede servir para mejorar el trabajo en el área de construcción. La complejidad de los problemas de envejecimiento se ilustra investigando a profundidad la evolución de la mezcla del hormigón y sus consecuencias, para el rendimiento a largo plazo en diferentes estructuras.

El envejecimiento es una característica innata de la naturaleza. El tema es bastante nuevo en la ciencia y en la ingeniería. La industria de la construcción busca que sus estructuras sean hechas en menor tiempo, y con menor impacto ambiental. Para combatir con el riesgo de aumentar los rangos de envejecimiento, es necesario el conocimiento profundo del desempeño de cada uno de los materiales que se emplea para la fabricación del hormigón. De esta manera se aumentaría la vida útil de la infraestructura.

En cuanto a los análisis químicos se recomienda emplear otras técnicas como la difracción o fluorescencia de rayos X para analizar la composición mineralógica.

Y para el caso de los análisis gravimétricos se recomienda hacer la digestión en un microondas para evitar el uso elevado de reactivos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelkader, M., Reyes, E., Moragues, A. (2010). Evolution of microstructure and mechanical behavior of concretes utilized in marine environments. *Material and Design*, 31(7) 3412-18.

Alarcón, J. (2017). Análisis, diseño y desarrollo de un solver para variables climáticas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Tesis de pre grado. Quito – Ecuador.

Arredondo, F. (1972). Estudio de materiales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento. Madrid.

Camuñas, A. (1974). *Materiales de Construcción*. Guadiana de Publicaciones. Madrid.

Carbonell, R. (1976). Protección y Reparación de estructuras de hormigón. Editorial Omega. Primera Edición. España.

Bernal, J., Mahmoud, S., Reyes, E., & Moragues, A. (2013). Estudio de la influencia de los medios con presencia de sulfatos en hormigones con cementos sulforresistentes y adiciones minerales. Parte 1: Hormigones expuestos a sulfato sódico (Na_2SO_4). *Revista de la Construcción*, 12(2).

Brown, G., Salle, E. (1977). *Química Cuantitativa*. Editorial Reverté. Barcelona-España.

EHE. (2008). Instrucción Española de Hormigón Estructural. Real Decreto 1247/2008.

Fernández, M. (1989). Hormigón. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.

Franco, G., & Ríos, J. (2017). Análisis físico químico de elementos de concreto sometidos a corrosión y sulfatación generados por contaminantes químicos en la industria textil (Tesis de grado). Universidad de la Salle – Bogotá.

Girón, A. (1998). Ataque por el cloruro en el concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. México.

Gromicko, N., & Shepard, K. The History of Concrete. International Association of Certified Home Inspectors.

Guillem de Vera, A. (2000). Ingreso de cloruros en hormigón. Métodos de análisis, detección no destructiva y modelización del transporte tras un aporte inicial limitado (Tesis Doctoral). Universidad de Alicante. España.

Gutiérrez de López, L. (1983). Análisis de las características de los agregados para concretos y morteros en Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Colombia

Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

Joisel, A. (1981). Fisuras y grietas en morteros y hormigones: sus causas y remedios. Editores Técnicos Asociados, S. A. Quinta Edición. Barcelona – España.

Khunthongkeaw, J., Tangtermsirikul, S., & Leelawat, T. (2006). A study on carbonation depth prediction for fly ash concrete. Construction and Building Materials, 9(20), 744-753.

Kozicki, C. & Carlson, C. (2019). Granulating Iron Oxide Pigments For Use in Concrete. FEECO INTERNATIONAL, Recuperado de: <https://feeco.com/granulating-iron-oxide-pigments-for-use-in-concrete/>

Montani, R. (2000). La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Construcción y Tecnología. México.

Mook, W. (2002). Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico. Instituto Geológico y Minero de España, Primera edición. Madrid-España.

Neville, A. (2004). The confused world of sulfate attack on concrete. Cement and Concrete Research, 34 (8) 1275-1296.

Nistal, A., Retana, M., & Ruiz, T. (2012). El Hormigón: Historia, Antecedentes en obras, y factores indicativos de su resistencia. Tecnología y Desarrollo, 12(2), 3-16.

Oro, J. & Holzer, G. (1979). The Effects of Ultraviolet Light on the Degradation of Organic Compounds: A Possible Explanation for the Absence of Organic Matter on Mars. Life

Sciences and Space Research. Proceedings of the Open Meeting of the Working Group on Space Biology of the Twenty-First Plenary Meeting of COSPAR, Innsbruck, Austria.

Pazos, C. (2018). Determinación del grado de deterioro producido por la acción del clima en diferentes materiales de construcción utilizados en edificaciones de la ciudad de Quito. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Tesis de pre grado. Quito – Ecuador.

Razmilic, B. (2006). Espectrometría de Absorción Atómica. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/ab482s/ab482s04.htm>

Sánchez, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Universidad Javeriana. Bogotá.

Skoog D., Holler F., Nieman T. (2001). *Principios de Análisis Instrumental*. Editorial Mc Graw Hill., Quinta Edición, Madrid-España.

Skoog, D., West, D. & Holler, F. (1997). *Fundamentos de Química Analítica*. Editorial Reverté S. A., Cuarta edición, Barcelona-España, Pp. 756

Triviño, F. (1985). Bases para la interpretación de los resultados de la pérdida al fuego, SO₃ y residuo insoluble. *Materiales de Construcción*, 35(198), 3-5.

Subsecretaría de Minería. (2017). Perfil de Mercado del Yeso. Dirección General de Desarrollo Minero. México.

Universidad de Salamanca. (2008). Hormigones, Ingeniería de Edificación.

Universidad Técnica Federico Santa María. (2015). Propiedades y ensayos del cemento. Chile.

Van, H. (2018). Concrete material science: Past, present, and future innovations. *Cement and Concrete Research*.

8. ANEXOS



Anexo 1. Balanza analítica *Mettler Toledo, ML 204*



Anexo 2. Pipeta 100-1000 μL *Pipette*



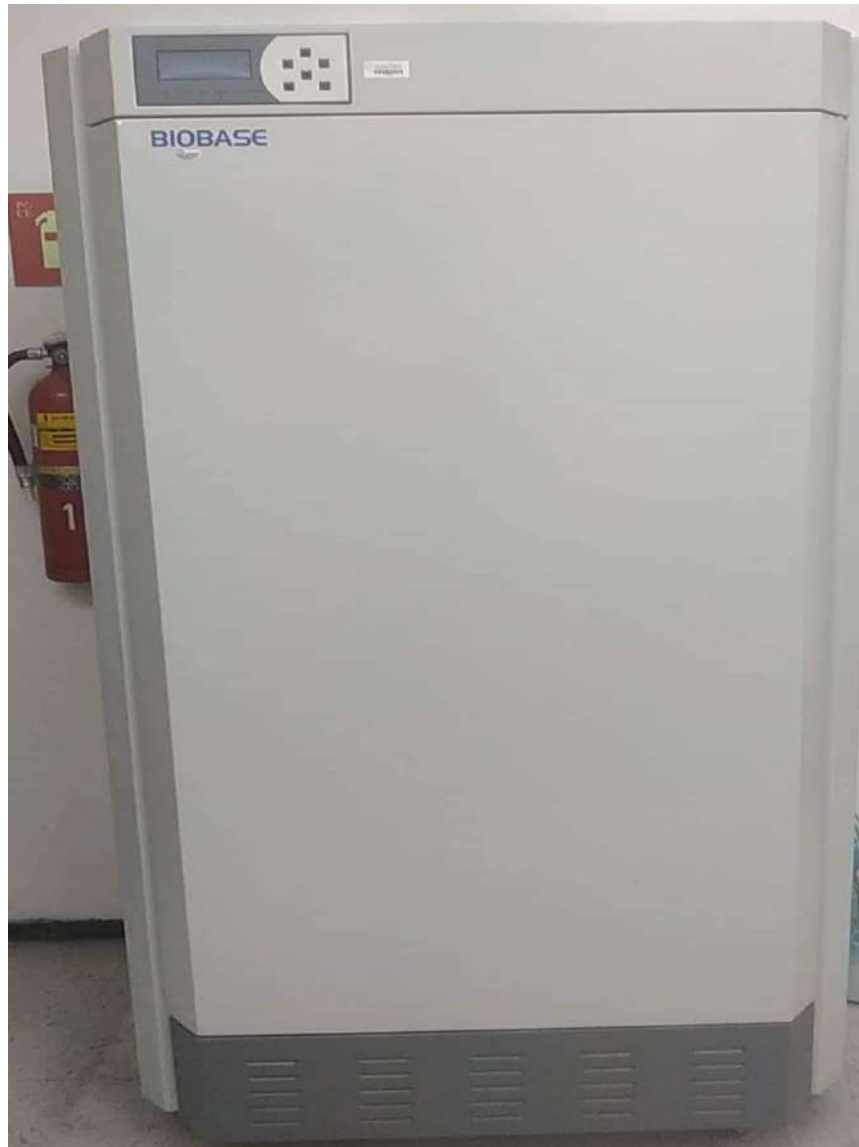
Anexo 3. Pipeta de 10-100 μL *Capp Denmark*



Anexo 4. Pipeta 1- 5 mL Capp Denmark



Anexo 5. Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer HGA 90



Anexo 6. Equipo de envejecimiento artificial BIOBASE, modelo BJPX-A450.



Anexo 7. Humidificador ultrasónico YADU

QUALITY CONTROL CERTIFICATE

Serial Number:

11J83233

Pipette: 100-1000 μ l

Volume: 500 μ l

Mean: 500.4 μ l

Inacc% (± 1.5)

Impr% (≤ 0.5)

PASSED

2016-12-04

Date/Datum/Date/Fecha/Data:

According to/Nach/Selon/Segun/In base a: DIN 12650;

CEISO 9001/13485

Anexo 8. Certificado de calidad de la pipeta 100-1000 μ L Pipette.

CALIBRATION CERTIFICATE

CAPP
D E N M A R K

Pipette Model: **B100-1**

Serial Number: **ME11677**

Calibration result: Pass

<p>Temperature (C): 23.5</p> <p>Relative humidity (%): 58.0</p> <p>Bar. Pressure (mbar): 1013</p> <p>Z-Factor: 1.003600</p> <p>Evaporation Rate (mg): 0.0000</p> <p>Equipment: Station 10, CP225D</p>	<p>Mean (ul): 10.07</p> <p>Precision (ul): 0.03</p> <p>CV (%): 0.31</p> <p>Accuracy (ul): 9.75 - 10.25</p> <p>Precision (ul): < 0.10</p> <p>CV (%): < 1.00</p>	<p>100.0 ul</p> <p>99.75</p> <p>98.89</p> <p>100.05</p> <p>98.70</p> <p>100.21</p> <p>0.16</p> <p>0.16</p> <p>99.30 -</p> <p>100.70</p> <p>< 0.20</p> <p>< 0.20</p>
---	--	---

Calibration date: **May 27, 2017 06:40 AM**

Calibrated by: **R T**

The Pass result indicates that this pipette is in conformity to manufacturer's specifications. The test is performed in accordance to ISO8655

Anexo 9. Certificado de calibración de la pipeta 10-100 µL CAPP.

CALIBRATION CERTIFICATE

CJPP
D E N M A R K

Pipette Model: **B5000-1**
 Serial Number: **JG10922**
 Calibration result: **Pass**

<p>Temperature (C): 24.5 Relative humidity (%): 57.0 Bar. Pressure (mbar): 10.13 Z-Factor: 1.003900 Evaporation Rate (mg): 0.0000 Equipment: Station 13, AX200</p>	<p>Mean (ul) 1001.22 Precision (ul) 1.04 CV (%) 0.10 Accuracy (ul) 988.00 - 1012.00 Precision (ul) < 3.00 CV (%) < 0.30</p>	<p>1000.0 ul 997.2 998.5 996.0 997.6</p> <p>5000.0 ul 4977.7 4984.8 4988.6 4992.4</p> <p>5005.32 6.27 0.13</p> <p>4970.00 - 5030.00 < 7.50 < 0.15</p>
---	---	--

Calibration date: **July 14, 2014**
 Calibrated by: **J R**

The Pass result indicates that this pipette is in conformity to manufacturer's specifications. The test is performed in accordance to ISO8655

Anexo 10. Certificado de calibración de la pipeta 1-5 mL CAPP.

125 Market Street
New Haven, CT 06513
USA



AccuStandard®, Inc.

Tel: (203) 766-5290
Fax: (203) 766-5287
www.AccuStandard.com

CERTIFICATE OF ANALYSIS

AccuTrace™ Reference Standard

Catalog No: AA54N-1
Description: Sodium AA Standard
Element: Sodium (Na)
SRM: 3152a
Lot: 217125066
Matrix: 2-5% Nitric acid
Hazards: Refer to SDS for complete safety information

Date Certified: Dec 13, 2017
Expiration: Dec 13, 2022
Sample Size: 100 mL
Components: 1
Storage Condition: Ambient (>5 °C)

Included on ISO/IEC 17025 Scope of Accreditation: Yes
Included on ISO Guide 34 Scope of Accreditation: Yes



Signal Word: Danger

Component	SRM #	Prepared Concentration (µg/mL)
Na Sodium	3152a	1000

The gravimetric uncertainty for this product is $\pm 0.24\%$.

In order to verify the concentration(s), the final solution was checked by plasma emission spectroscopy (ICP) against material traceable to the above listed NIST SRM(s).


This standard was prepared using ACS grade or better starting materials, high purity acids and ASTM Type I 18 megohm deionized water.

All glassware used in preparation is Class A and calibrated regularly.

All weights are traceable through NIST, Test No. 822-275872-11

Shake bottle prior to use and do not pipette directly out of the bottle. Use only cleaned Class A volumetric glassware.

We certify the accuracy of this standard to be $\pm 0.5\%$ of the stated value until its expiration date provided it is kept tightly capped and stored under the conditions stated above.

Certified By: 
Maigan O'Leary, Inorganic QC Manager

Page 1 of 1

For use in routine laboratory analysis.

AccuStandard is accredited to ISO Guide 34, ISO/IEC 17025 and certified to ISO 9001:2015

QR-ORG-INO-001
Rev. 4/17

Anexo 11. Certificado estándar de sodio, AccuStandard®, Inc.

125 Market Street
New Haven, CT 06513
USA



AccuStandard® Inc.

Tel (203)786-5290
Fax (203)786-5287
www.AccuStandard.com

CERTIFICATE OF ANALYSIS

AccuTrace™ Reference Standard

Catalog No: AA43N-1
Description: Potassium AA Standard
Element: Potassium (K)
SRM: 3141a
Lot: 216045178
Matrix: 2-5% Nitric acid
Hazards: **CORROSIVE** - Refer to SDS for safety info

Date Certified: May 6, 2016
Expiration: May 6, 2021
Concentration: 1000 µg/mL

Sample Size: 100 mL
Components: 1
Storage Condition: Ambient (>5 °C)

Included on ISO/IEC 17025 Scope of Accreditation: Yes
Included on ISO Guide 34 Scope of Accreditation: Yes



Danger 1

Component	SRM #	Prepared Concentration (µg/mL)
K Potassium	3141a	1000

The gravimetric uncertainty for this product is $\pm 0.24\%$. See reverse side for details.
In order to verify the concentration(s), the final solution was checked by plasma emission spectroscopy (ICP) against material traceable to the above listed NIST SRM(s).
This standard was prepared using ACS grade or better starting materials, high purity acids and ASTM Type I 18 megohm deionized water.
All glassware used in preparation is Class A and calibrated regularly.
All weights are traceable through NIST, Test No. 822-275872-11
Use good laboratory procedure when diluting this product. Shake bottle prior to use and do not pipette directly out of the bottle. Use only cleaned Class A volumetric glassware.
We certify the accuracy of this standard to be $\pm 0.5\%$ of the stated value until its expiration date provided it is kept tightly capped and stored under the conditions stated above.

Certified By:
Meigan O'Leary, Inorganic QC Manager

Page 1 of 1

For use in routine laboratory analysis.

AccuStandard is accredited to ISO Guide 34, ISO/IEC 17025 and certified to ISO 9001:2015

QR-ORG/NO-001
Rev. 4/17

Anexo 12. Certificado estándar de potasio, AccuStandard®, Inc.

125 Market Street
New Haven, CT 06513
USA



AccuStandard® Inc.

Tel (203)786-5290
Fax (203)786-5287
www.AccuStandard.com

CERTIFICATE OF ANALYSIS

AccuTrace Reference Standard

Catalog No: AA09N-1

Description: Calcium AA Standard

Element: Calcium (Ca)

SRM: 3109a

Lot: 216075005

Matrix: 2-5% Nitric acid

Hazards: **CORROSIVE** - Refer to SDS for safety info



Danger 1

Date Certified: Jul 11, 2016

Expiration: Jul 11, 2021

Concentration: 1000 µg/mL

Sample Size: 100 mL

Components: 1

Storage Condition: Ambient (>5 °C)

Included on ISO/IEC 17025 Scope of Accreditation: Yes

Included on ISO Guide 34 Scope of Accreditation: Yes

Component	SRM #	Prepared Concentration (µg/mL)
Ca Calcium	3109a	1000

The gravimetric uncertainty for this product is ±0.2%. See reverse side for details.

In order to verify the concentration(s), the final solution was checked by plasma emission spectroscopy (ICP) against material traceable to the above listed NIST SRM(s).

This standard was prepared using ACS grade or better starting materials, high purity acids and ASTM Type I 18 megohm deionized water.

All glassware used in preparation is Class A and calibrated regularly.

All weights are traceable through NIST, Test No. 822-275872-11

Use good laboratory procedure when diluting this product. Shake bottle prior to use and do not pipette directly out of the bottle. Use only cleaned Class A volumetric glassware.

We certify the accuracy of this standard to be ±0.5% of the stated value until its expiration date provided it is kept tightly capped and stored under the conditions stated above.

Certified By:

Meigan O'Leary, Inorganic QC Manager

Page 1 of 1

For use in routine laboratory analysis.

AccuStandard is accredited to ISO Guide 34, ISO/IEC 17025 and certified to ISO 9001

OP-ORG/MS/001
Rev. 2/11

Anexo 13. Certificado estándar de calcio, AccuStandard®, Inc

125 Market Street
New Haven, CT 06513
USA



AccuStandard[®], Inc.

Tel (203)786-5290
Fax (203)786-5287
www.AccuStandard.com

CERTIFICATE OF ANALYSIS

AccuTrace™ Reference Standard

Catalog No: AA32N-1
Description: Magnesium AA Standard
Element: Magnesium (Mg)
SRM: 3131a
Lot: 215025028-01
Matrix: 2-5% Nitric acid
Hazards: Refer to SDS for complete safety information

Date Certified: Feb 20, 2017
Expiration: Feb 20, 2022
Sample Size: 100 mL
Components: 1
Storage Condition: Ambient (>5 °C)
Included on ISO/IEC 17025 Scope of Accreditation: Yes
Included on ISO Guide 34 Scope of Accreditation: Yes



Signal Word: Danger

Component	SRM #	Prepared Concentration (µg/mL)
Mg Magnesium	3131a	1000

The gravimetric uncertainty for this product is $\pm 0.2\%$. See reverse side for details.
In order to verify the concentration(s), the final solution was checked by plasma emission spectroscopy (ICP) against material traceable to the above listed NIST SRM(s).
This standard was prepared using ACS grade or better starting materials, high purity acids and ASTM Type I 18 megohm deionized water.
All glassware used in preparation is Class A and calibrated regularly.
All weights are traceable through NIST, Test No. B22-275872-11
Shake bottle prior to use and do not pipette directly out of the bottle. Use only cleaned Class A volumetric glassware.
We certify the accuracy of this standard to be $\pm 0.5\%$ of the stated value until its expiration date provided it is kept tightly capped and stored under the conditions stated above.

Certified By:

Meigan O'Leary

Meigan O'Leary, Inorganic QC Manager

Page 1 of 1

For use in routine laboratory analysis.

AccuStandard is accredited to ISO Guide 34, ISO/IEC 17025 and certified to ISO 9001:2015

09-ORG/INO-001
Rev. 4/17

125 Market Street
New Haven, CT 06513
USA



AccuStandard®, Inc.

Tel (203)786-5290
Fax (203)786-5287
www.AccuStandard.com

CERTIFICATE OF ANALYSIS

AccuTrace™ Reference Standard

Catalog No: AA27N-1
Description: Iron AA Standard
Element: Iron (Fe)
SRM: 3126a
Lot: 218015009
Matrix: 2-5% Nitric acid

Hazards: Refer to SDS for complete safety information

Date Certified: Jan 12, 2018
Expiration: Jan 12, 2023
Sample Size: 100 mL
Components: 1
Storage Condition: Ambient (>5 °C)

Included on ISO/IEC 17025 Scope of Accreditation: Yes
Included on ISO Guide 34 Scope of Accreditation: Yes



Signal Word: Danger

Component	SRM #	Prepared Concentration (µg/mL)
Fe Iron	3126a	1000

The gravimetric uncertainty for this product is $\pm 0.24\%$.

In order to verify the concentration(s), the final solution was checked by plasma emission spectroscopy (ICP) against material traceable to the above listed NIST SRM(s).

This standard was prepared using ACS grade or better starting materials, high purity acids and ASTM Type I 18 megohm deionized water.

All glassware used in preparation is Class A and calibrated regularly.

All weights are traceable through NIST, Test No. 822-275872-11

Shake bottle prior to use and do not pipette directly out of the bottle. Use only cleaned Class A volumetric glassware.

We certify the accuracy of this standard to be $\pm 0.5\%$ of the stated value until its expiration date provided it is kept tightly capped and stored under the conditions stated above.

Certified By:

Meigan O'Leary, Inorganic QC Manager

Page 1 of 1

For use in routine laboratory analysis.

AccuStandard is accredited to ISO Guide 34, ISO/IEC 17025 and certified to ISO 9001:2015

QR-ORGANO-001
Rev. 4/17

Anexo 15. Certificado estándar de hierro, AccuStandard®, Inc

PARA GRADOS ACADÉMICOS DE LICENCIADOS (TERCER NIVEL)
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR DECLARACIÓN Y
AUTORIZACIÓN

Yo, Karen Pamela Bohórquez Tinizaray, C.I. 1717897845, autor del trabajo de graduación titulado: “Estudio del grado de deterioro del hormigón simple y armado empleando una cámara de envejecimiento”, previa a la obtención del grado académico de LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICAS CON MENCIÓN EN QUÍMICA ANALÍTICA en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos del autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 02 de marzo de 2020.

Karen Pamela Bohórquez Tinizaray

C.I. 1717897845