

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA CIVIL E INGENIERO CIVIL**

**TEMA:
DURABILIDAD DEL HORMIGÓN CON FIBRAS DE YUTE**

**AUTORES:
MAYRA LUCIA CASTILLO JARAMILLO
CRISTIAN JAVIER FARINANGO QUILUMBAQUÍN**

**TUTOR:
HUGO FLORENCIO TORRES MERINO**

Quito, febrero de 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Mayra Lucia Castillo Jaramillo, con documento de identificación N° 1718179417 y Cristian Javier Farinango Quilumbaquín, con documento de identificación N° 1722408406, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: "DURABILIDAD DEL HORMIGÓN CON FIBRAS DE YUTE", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Civil e Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Nombre: Mayra Lucia Castillo Jaramillo
Cédula: 1718179417



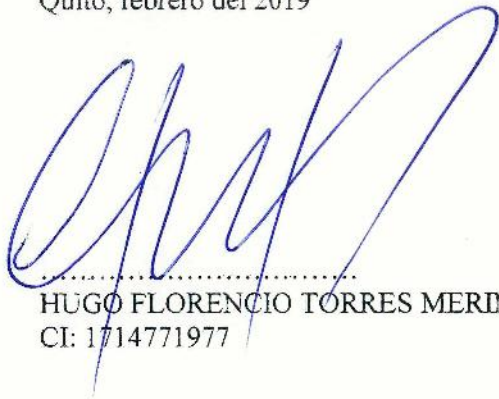
.....
Nombre: Cristian Javier Farinango Quilumbaquín
Cédula: 1722408406

Fecha: Quito, febrero del 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, HUGO FLORENCIO TORRES MERINO declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo académico: "DURABILIDAD DEL HORMIGÓN CON FIBRAS DE YUTE" realizado por Mayra Lucia Castillo Jaramillo y Cristian Javier Farinango Quilumbaquín , obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2019



.....
HUGO FLORENCIO TORRES MERINO
CI: 1714771977

AGRADECIMIENTO:

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores, y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial al MSc. Hugo Florencio Torres Merino, tutor de nuestro proyecto de investigación por su asesoramiento constante.

DEDICATORIA:

A Dios por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres por su apoyo, dedicación, ejemplo y guía en todos estos años.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito.

DURABILIDAD DEL HORMIGÓN CON FIBRAS DE YUTE

DURABILITY OF CONCRETE WITH JUTE FIBERS

Mayra Castillo-Jaramillo¹, Cristian Farinango-Quilumbaquín²

Resumen

El presente artículo de investigación tiene el objetivo de estudiar la durabilidad del hormigón; que es uno de los aspectos más importantes, relacionándola directamente con la vida útil de las estructuras.

Existen diferentes agresividades, físicas y químicas que afectan al comportamiento del hormigón. Para el presente estudio, se ha tomado como referencia al agua de mar, ya que es uno de los factores principales que causa efectos destructivos sobre el hormigón, debido a la formación de sulfato de calcio y sulfoaluminiato de calcio, generando deformaciones en la estructura a causa del incremento en su volumen.

Esta investigación integra variables como: la resistencia, el peso unitario, módulo de elasticidad, absorción, porosidad, indicadores importantes para el estudio de durabilidad.

En esta búsqueda se elaboraron 40 probetas de hormigón patrón y 60 probetas de hormigón incluyendo fibra vegetal de yute con resistencias de 21 MPa respectivamente, que luego del curado a 28 días, un 60% de las muestras se sometieron a ciclos de inmersión en solución de sulfato de sodio y secado en horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, y posteriormente se realizaron los ensayos mecánicos correspondientes.

A partir de los resultados obtenidos, se

Abstract

The present research article has the aim of study the durability of concrete; which is one of the most important aspects, relating it directly to the useful life of the structures.

There are different aggressions, physical and chemical that affect the behavior of concrete. For the present study, seawater has been taken as a reference, since it is one of the main factors that causes destructive effects on concrete, due to the formation of calcium sulfate and calcium sulfoaluminate, generating deformation in the structure because of the increase in its volume.

This research integrates variables such as: resistance, unit weight, modulus of elasticity, absorption, porosity, important indicators for the study of durability.

In this search, 40 standard concrete specimens and 60 concrete specimens were made, including jute vegetable fiber with resistances of 21 MPa respectively, which after curing at 28 days, 60% of the samples were subjected to immersion cycles in solution of Sodium sulfate and oven drying at $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, and then the corresponding mechanical tests were carried out.

From the results obtained, a comparative analysis was made among all the concrete samples, confirming that the presence of sodium sulfate, affects the resistance and porosity for each type of concrete

¹ Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito – Ecuador.

² Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito – Ecuador.

Autor para correspondencia: mcastillojar@est.ups.edu.ec, cfarinango@est.ups.edu.ec

realizó un análisis comparativo entre todas las muestras de hormigón, constatando que la presencia de sulfato de sodio, afecta la resistencia y la porosidad para cada tipo de muestras de hormigón, siendo aspectos importantes para el estudio de durabilidad. samples, being important aspects for the study of durability.

Palabras Claves: Ataque de sulfatos, durabilidad del hormigón, fibras, porosidad. **Keywords:** Sulfate attack, durability of concrete, fibers, porosity.

1. Introducción

La durabilidad del hormigón de cemento hidráulico se define como su capacidad para resistir la acción de la meteorización, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro [1].

De esta forma la durabilidad del hormigón se relaciona de manera directa con la facilidad que tienen los agentes agresivos de ingresar y de moverse en su interior. La penetración de agua que transporta el agente agresivo depende de la porosidad, el grosor del cemento, la relación agua/cemento y los agregados [2], dando lugar a mecanismos de absorción y permeabilidad, son los factores más importantes que influyen en la durabilidad del hormigón.

Un hormigón de razonable calidad, no suele ser un serio problema el ataque químico por el agua de mar, el parámetro esencial que determina el buen comportamiento de un hormigón es la morfología de los poros relacionándolo con la permeabilidad [3].

Esta investigación, hace referencia al ataque por sulfatos en el hormigón que es producto de una reacción química entre el ión sulfato y el aluminato de calcio hidratado y/o el componente hidróxido de calcio de la pasta de cemento endurecida, en presencia de agua.

Al ser un aspecto importante el estudio de la durabilidad, se realizan ensayos de laboratorio para obtener las propiedades mecánicas de las muestras de hormigón, siendo relevante este procedimiento, debido a que al someter las muestras de hormigón a ciclos de inmersión en solución de sulfato de sodio y secado al horno, se pretendía reducir las propiedades mecánicas del hormigón para constatar la agresividad que tiene dicha solución, realizando una comparación de los resultados obtenidos en el laboratorio como son: la

resistencia y el módulo de elasticidad, respecto a un modelo matemático por elementos finitos, estableciendo valores mínimos a los que la estructura puede comportarse de buena manera, evidenciando una disminución de hasta un 70% de su capacidad, sin que se afecte los parámetros de diseño que el ACI 318 y la NEC 15 exigen, garantizando un adecuado comportamiento de la estructura ante eventos sísmicos.

Es así, que el objetivo principal de esta investigación fue realizar un análisis técnico del comportamiento y duración del concreto simple fabricado con fibra natural vegetal (yute) como una alternativa sostenible de aprovechamiento de recursos para lograr obras que sean resistentes, duraderas y lo más económicas posibles.

2. Materiales y Métodos

2.1. Caracterización de los materiales para la elaboración de hormigones.

- Cemento

El cemento que se utilizó en esta presente investigación fue Cemento Portland Puzolánico Tipo IP, es un cemento que cumple con la norma INEN 490 [4], con un peso específico de 2.85 g/cm^3 .

- Fibras de Yute

Adicionalmente a la mezcla se le agrego fibras de yute, las cuales se obtuvieron en forma de hilos gruesos y al darle el debido proceso según el informe de ACI Comité 544. Measurement of properties of Fiber Reinforced Concrete Institute, se le deshebró y se cortó en una longitud de 2.5 cm.

- Agua

En la presente investigación se utilizó agua potable apta para el consumo humano.

- Solución de sulfato de sodio

Se utilizó sulfato de sodio (calidad industrial) en estado sólido cristalino, marca QUIREY.

La cantidad de sulfato utilizada en estado sólido fue de 215gr por litro de agua para la preparación de la solución, según la norma NTE INEN 863 [5].

- Agregados

Los agregados utilizados en la investigación son de origen volcánico (ígneas) provenientes de la cantera de RIPCONCIV ubicada en la parroquia de Pifo vía a Papallacta.

Previo al diseño de la mezcla, los agregados fueron sometidos a los siguientes ensayos de laboratorio según la norma ecuatoriana INEN y la ASTM, para la caracterización de los agregados, fue necesario calcular el promedio de dos ensayos consecutivos obteniendo de esta manera sus propiedades físicas y mecánicas.

Determinándose así: pesos específicos [6], porcentaje de absorción [6], pesos unitarios [7], desgaste a la abrasión en la máquina de los ángeles [8], granulometría [9], contenido orgánico [10], que posee cada agregado.

Además, se determinó el porcentaje de absorción y el peso unitario en las fibras de yute, especificadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Ensayos realizados a los agregados.

Ensayo	Norma
Análisis Granulométrico	NTE INEN 696 (ASTM-C33)
Peso unitario suelto y compactado	NTE INEN 858 (ASTM-C29)
Peso específico aparente	Agregado fino: NTE INEN 856 (ASTM-C128)
Capacidad de absorción	Agregado grueso: NTE INEN 857 (ASTM-C127)
Porcentaje de abrasión	NTE INEN 860 (ASTM-C131)
Colorimetría	NTE INEN 855 (ASTM-C40)

2.2. Diseño de las mezclas de hormigón

Para el diseño de hormigones, los datos obtenidos de la caracterización física de los agregados fueron indispensables, permitiendo elaborar el diseño de las mezclas mediante el método RNL (Road Note Laboratory), debido a que la curva granulométrica no cumplía con los requisitos señalados por el ACI. Se utilizó una relación agua/cemento (a/c) de 0.58 para una resistencia de 21 MPa; sin inclusión de aire, recomendada por el Asocreto [11]. El mismo procedimiento se realizó para las mezclas que contienen fibra de yute, obteniendo una adecuada trabajabilidad manteniendo una resistencia óptima en los dos casos.

2.3. Elaboración de la mezcla de hormigón

Previo a la elaboración de las mezclas definitivas, se realizaron 20 especímenes cilíndricos de prueba, ensayadas a edad de 7 días, para garantizar una mezcla óptima que cumpla con los requerimientos de resistencia para la que fue diseñada.

Posteriormente se realizaron 10 especímenes cilíndricos (6 sin yute y 4 con yute), durante 10 días consecutivos, de dimensiones: 15 cm de diámetro x

30 cm de altura como se establece en la norma NTE INEN 1576 (ASTM C-31) [12], para ser ensayadas a edad de 28 días.

2.4. Ensayos para determinar las propiedades físicas del hormigón en estado fresco.

Para determinar las propiedades físicas en estado fresco del hormigón, se realizaron los siguientes ensayos.

Tabla 2. Ensayos realizados al hormigón en estado fresco.

Ensayo	Norma
Temperatura	(ASTM-C1064)
Revenimiento	NTE INEN 1578 (ASTM-C143)
Peso unitario y rendimiento	NTE INEN 1579 (ASTM-C138)

2.5. Sumersión de los cilindros de hormigón en solución de sulfato de sodio.

Siendo el tema de estudio referente a durabilidad, es importante conocer los compuestos químicos que afectan agresivamente al hormigón, como son los sulfatos y cloruros.

En la presente investigación, se adoptó como reactivo químico, el sulfato de sodio (sólido), debido a que su afectación es considerablemente alta, intentando emular al agua de mar.

Una vez que se ha cumplido el proceso de curado de 28 días, se realizó una solución de sulfato de sodio $[Na_2SO_4]$ en donde, los cilindros de hormigón con fibra de yute y sin yute se sometieron a ciclos de sumersión en dicha solución, y secado en horno a $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$, dando un total de 15 ciclos. Se tomó como referencia a la norma NTE INEN 863 perteneciente para áridos. (Ver Figura 1 y 2).



(a)



(b)

Figura 1. (a) Sumersión de los cilindros en el sulfato de sodio. (b) Secado en horno de las muestras luego de la sumersión.



Figura 2. Muestras de hormigón sometidas a 15 ciclos de inmersión en solución de sulfato y secado

2.6. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas del hormigón en estado endurecido.

Para determinar las propiedades mecánicas en del hormigón en estado endurecido, se realizaron los siguientes ensayos, mostrado en la Tabla 3.

Tabla 3: Ensayos realizados al hormigón en estado endurecido.

Ensayo	Norma
Compresión de cilindros de concreto	(ASTM-C39)
Determinación del módulo de elasticidad estático y la relación de Poisson del concreto a compresión	(ASTM- C469)
Densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido	(ASTM-C642)

Cabe recalcar que, para entender el comportamiento de una estructura, se lo

3. Resultados y Discusión

Se presentan los resultados de los ensayos y análisis que se han realizado en el trabajo de investigación.

3.1. Caracterización de los agregados

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en laboratorio, indispensables para el diseño de hormigones.

Tabla 4: Caracterización de los agregados

Agregado	Ensayos de Laboratorio							Cont. orgánico
	Granulometría óptima		Pesos unitarios		Peso específico	Capacidad de absorción	Porcentaje de abrasión	
	Tamaño (mm)	% Pasa	Suelto (kg/m ³)	Compactado (kg/m ³)	s.s.s (kg/m ³)	(%)	(%)	
Grueso	19,0	100						
	12,7	84	1462	1493	2653	1.318	24.6	N/A
	9,51	73						
	4,76	55						
	2,38	40						
	1,19	30						
Fino	0,600	23						(Figura 3)
	0,300	17	1575	1706	2507	5.342	N/A	Acceptable
	0,150	13						

N/A: No Aplica

realizó mediante el método de elementos finitos por medio del software ETABS 2013. Permitiendo reducir las propiedades mecánicas de resistencia y módulos de elasticidad hasta un 70% de su capacidad.

Cumpliendo con los parámetros de torsión, período de vibración, derivas de piso, que la NEC-SE-DS y ACI 318; exigen para garantizar un adecuado comportamiento de la estructura ante eventos sísmicos.

El ensayo de colorimetría o análisis de impurezas orgánicas en el agregado fino, nos indica que se encuentra en la escala 1 (ver Figura 3) que es una arena con poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas y se la considera de muy buena calidad.

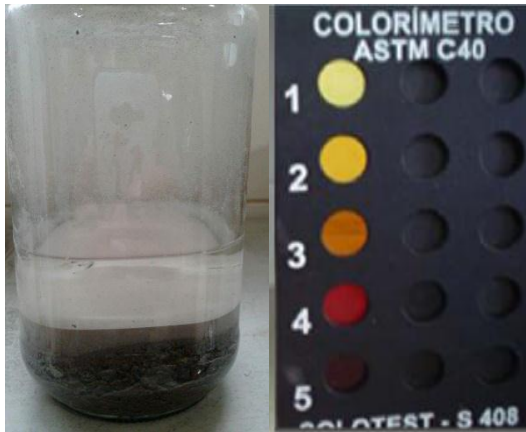


Figura 3. Colorimetría del material y colorímetro ASTM C40.

3.2. Dosificaciones adoptadas para los hormigones

La dosificación para las mezclas patrón y con fibra de yute, obtenidas mediante el método RNL, se resume en la Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente.

Tabla 5: Dosificación de la mezcla patrón para fabricar 1m³ de hormigón al peso.

Agua (kg)	Cemento (kg)	Arena (kg)	Ripio (kg)
253.61	381.18	796.73	780.17

Tabla 6: Dosificación de la mezcla con fibra de yute para fabricar 1 m³ de hormigón al peso.

Agua (kg)	Cemento (kg)	Arena (kg)	Ripio (kg)	Yute (kg)
255.64	382.32	799.11	782.50	0.407

Los agregados fueron secados al horno a 110 °C previamente antes de la realización de la mezcla patrón, posteriormente se realizó el tamizado del material, obteniendo una granulometría fija, importante para la producción de cilindros con una desviación estándar de 3 MPa.

Definida la mezcla patrón, se elaboraron muestras de hormigón con fibra, donde se adicionó el 0.2% de fibra de yute respecto al volumen total

de la mezcla, siendo la más óptima para garantizar un mejor desempeño mecánico del hormigón [13].

La fibra de yute fue deshilada y cortada para ser colocada en la mezcla de hormigón con yute.

3.3. Resultado de los ensayos de hormigón en estado fresco

Se determinó la densidad del hormigón, así como también su consistencia y temperatura, garantizando una trabajabilidad adecuada de la mezcla, mediante los respectivos ensayos de laboratorio obteniendo los siguientes valores que se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7: Resultados del hormigón en estado fresco.

	CON YUTE	SIN YUTE
Densidad promedio (g/cm ³)	2.286	2.271
Asentamiento (cm)	8.73	8.85
Temperatura (°C)	18.00	18.00

La incidencia de la fibra de yute en la mezcla de hormigón es de gran importancia debido a que brindan a la masa una forma de agarre que evitan la dispersión y fluidez de la mezcla produciendo asentamientos esperados.

3.4. Afectación del agua de mar y solución de sulfato de sodio al hormigón

Para ver la agresividad del agua de mar, y de la solución de sulfato de sodio, ésta última utilizada en la investigación, se realizaron análisis químicos de agua descritos a continuación:

Ensayo: Sulfatos

Técnica: Espectrofotometría UV-VIS.

Método de ensayo: PNE/DPEC/A/SM 4500 E, Método de referencia: Standard Methods, Ed. 22.2012 4500 E.

Obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8: Análisis químico del agua de mar y solución de sulfato de sodio

	Sulfatos (ppm)	Cloruros (ppm)	Sodio (ppm)
Agua de Mar	11628	19993.8	8100
Solución de sulfato de Sodio	58950	625	184150

La solución de sulfato de sodio, tiene más concentración de sulfatos, que el agua de mar esto no significa que el agua de mar no tenga incidencia por la concentración de sulfatos; pues existe agresividad de estos ataques. Razón por la cual, para esta investigación, se ha adoptado a la solución de sulfato de sodio como agente químico agresivo, evidenciando un deterioro de la capa externa en las probetas de hormigón.

Se realizaron también análisis químicos de la concentración de sulfatos en el hormigón (ver Tabla 9), obteniendo muestras de los cilindros que fueron sometidos a ciclos de inmersión y secado, respecto a los cilindros en condiciones normales, obteniendo determinados valores a diferentes profundidades, describiéndose el análisis a continuación:

Ensayo: Sulfatos solubles
Método de ensayo: APHA 4500-SO42-E (Turbidimetric Method)

Tabla 9: Análisis químico del hormigón en solución de sulfato de sodio

	Profundidad de penetración (mm)	Concentración de Sulfato (ppm)
Hormigón con sulfato (Capa externa)	25	25795.00
(Capa media)	50	11213.75
(Núcleo)	75	3372.13
Hormigón muestra patrón (Capa externa)	25	10.750

Para obtener la tasa de penetración del sulfato hacia el hormigón, se relacionó la profundidad de penetración y la concentración de sulfatos, mediante los ensayos y análisis químicos realizados al hormigón anteriormente, dividiendo la tasa de penetración para el número de ciclos (18 días), Obteniendo un valor de ((24.91 mg/kg) / mm) / día

Mediante estos resultados, se determinó una tasa de penetración del sulfato hacia el interior del hormigón. (Ver Figura 4.)

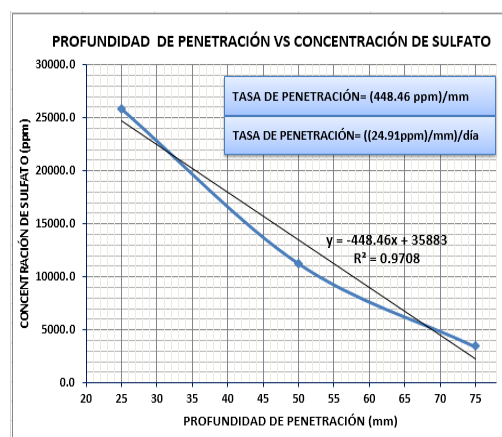
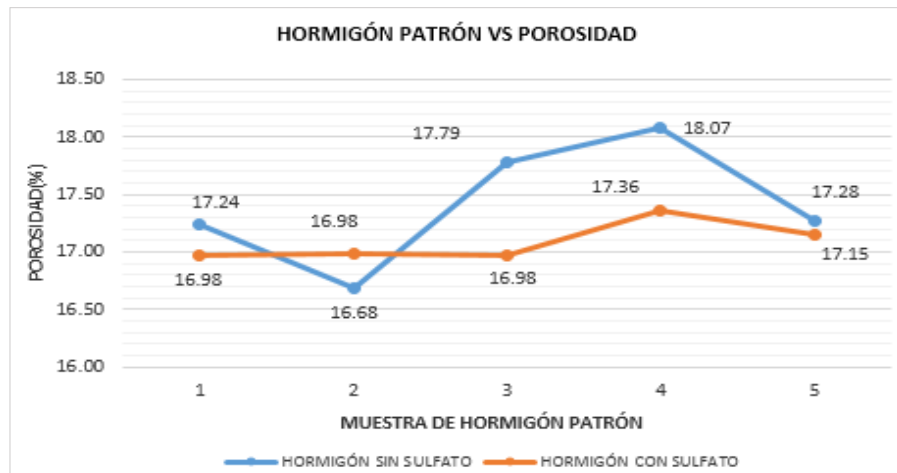


Figura 4. Profundidad de penetración vs concentración de sulfato

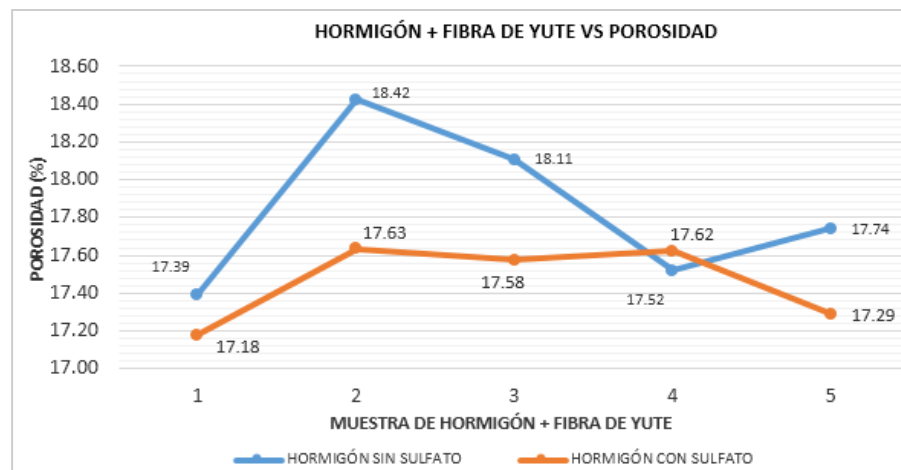
3.5. Resultado de los ensayos del hormigón en estado endurecido.

3.5.1. Resultado de los ensayos de absorción del hormigón.

Este ensayo se lo realizó a los cilindros de hormigón, después de la edad de 28 días, y a aquellos que se les sometió posteriormente a ciclos de inmersión en solución de sulfato y secado en el horno, obteniendo los siguientes resultados. (Ver Figura 5. (a) y (b)).



(a)



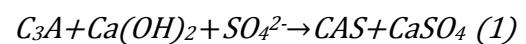
(b)

Figura 5. (a) Hormigón patrón vs Porosidad. (b) Hormigón + yute vs Porosidad.

En la figura anterior, se evidencia un aumento de porosidad, de las muestras que no contienen sulfato, con respecto a las muestras que contienen sulfato.

Al estar sometidas a ciclos de secado e inmersión, se produce una reacción del ion sulfato, con los componentes presentes en el cemento como son: aluminato de calcio y el hidróxido de calcio formando sulfo aluminato de calcio y sulfato de calcio respectivamente mostrado en la ecuación (1), aumentando la resistencia, y un leve incremento de porosidad y valores de absorciones aceptables donde se cree que esto se debe a la

absorción y a la cristalización de las sales en los poros del hormigón por lo que queda abierto realizar un análisis microscópico para proyectos futuros.



Aun así, se considera un hormigón de buenas características, ya que el porcentaje de absorción, para las muestras de hormigón no supera el 10% de su masa. [14]

En la Tabla 10 se presenta un resumen de la absorción y porosidad de las muestras de hormigón.

Tabla 10: Absorción y porosidad en las muestras de hormigón

ABSORCIÓN Y POROSIDAD				
	Muestras sin sulfato		Muestras con sulfato	
	Absorción después de la inmersión (%)	Porosidad (%)	Absorción después de la inmersión (%)	Porosidad (%)
Sin yute	7.49	17.41	7.42	17.09
Con yute	7.75	17.84	7.64	17.46

3.5.2. Resultado de los ensayos a compresión y módulos de elasticidad del hormigón

Para obtener los resultados de los ensayos a compresión, y módulos de elasticidad, se analizaron los datos para cada muestra de hormigones mediante estadística, pudiendo ajustarse los valores a una distribución normal, brindando un nivel de confiabilidad aceptable para que la muestra sea representativa, obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11: Valores de resistencia de las muestras de hormigón

RESISTENCIA			
	Patrón	Patrón +sulfato	Patrón +yute +sulfato
Media (MPa)	22.805	31.061	27.875
Desv. est. (MPa)	1.050	1.462	0.935
Nivel de confiab.	70.54%	74.96%	69.50%
f'ce (MPa)	23.855	32.522	28.810

Según la Tabla anterior, se observa que existen niveles de confiabilidad bajos al 95% esto se debe a que el número de datos es extremadamente bajo (20 datos), obteniendo un valor mínimo de 69.50% y máximo de 74.96% de confiabilidad, los cuales son aceptables para poder determinar la resistencia experimental (f'_{ce}) para cada tipo de muestra [15].

Al someter las probetas de hormigón a la solución de sulfatos, aumenta la resistencia [16], en un 11.41% para la muestra patrón expuesto a sulfatos, con respecto a la muestra patrón con yute expuesto a sulfatos.

Se pueden evidenciar la variación de la resistencia para las diferentes muestras de hormigón en la Figura 6.

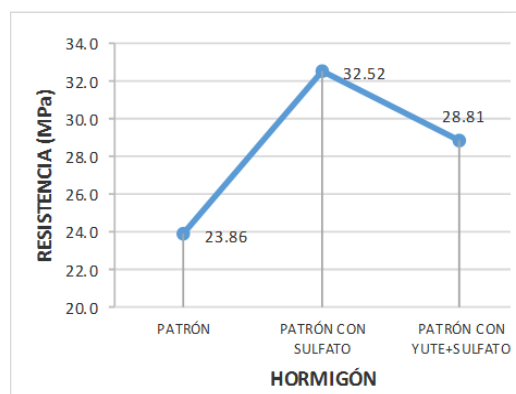


Figura 6. Resistencias a la compresión de cilindros.

En la Tabla 12, se muestran los niveles de confiabilidad con un valor mínimo de 75.80%, y un valor máximo de 81.59%, siendo aceptables para la determinación del módulo de

elasticidad experimental (Ece) [15], para las distintas muestras.

Se constata que, al someter las probetas de hormigón a la solución de sulfatos, aumenta el módulo de elasticidad [17], en un 2.24% para la muestra patrón expuesto a sulfatos, con respecto a la muestra patrón con yute expuesto a sulfatos.

Tabla 12: Valores de módulos de elasticidad de las muestras de hormigón

MÓDULOS DE ELASTICIDAD			
	Patrón	Patrón +sulfato	Patrón +yute +sulfato
Media (MPa)	28474.42	30499.51	30575.58
Desv.est. (MPa)	2324.69	1227.79	1877.32
Nivel de confiab.	78.08%	75.80%	81.59%
Ece (MPa)	30799.11	31727.29	32452.90

En la Figura 7, se observa la variación de módulos de elasticidad para las diferentes muestras de hormigón.

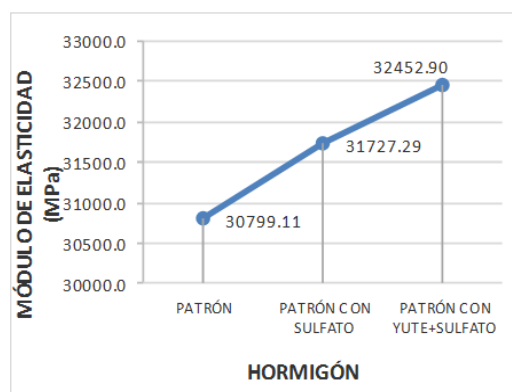


Figura 7. Módulos de Elasticidad de los cilindros.

4. Conclusiones

En base a la experimentación realizada se enumeran las siguientes conclusiones:

De acuerdo al análisis químico de contenido de sulfatos, se demostró que la parte más externa de la probeta de hormigón se ve gravemente afectada por el ión, superando considerablemente los 12000 ppm [18] consideradas como alta exposición a sulfatos.

Respecto a la resistencia a compresión se constató que hubo un incremento del 11.41% de esta propiedad mecánica para el hormigón sin yute expuesto a sulfatos, con respecto al hormigón patrón con yute expuesto a sulfatos. Se considera que este fenómeno tuvo lugar debido a que, al estar sometidos a ciclos de secado e inmersión en solución de sulfato de sodio, se cree que las partículas en el proceso llenaron los poros formando cristales, generando un aumento de resistencia con respecto a las muestras que no fueron sumergidas en la solución de sulfatos.

Respecto al módulo de elasticidad se constató que hubo un incremento del 2.24% de esta propiedad mecánica para el hormigón sin yute expuesto a sulfatos, con respecto al hormigón patrón con yute expuesto a sulfatos.

5. Recomendaciones

Mediante los ensayos de laboratorio y análisis químicos de aguas y hormigones, se han obtenido resultados que permitieron estudiar en parte la durabilidad del hormigón, por lo que se deberían realizar otro tipo de ensayos que permitan comprender con mayor precisión el comportamiento del hormigón, frente a los agentes agresivos, siendo un aporte inicial para las futuras investigaciones que se quiera realizar acerca de la durabilidad en hormigones.

Realizar mayores ciclos de inmersión y secado durante mayores intervalos de tiempo, para evidenciar si existen cambios de la absorción y resistencia en el hormigón.

Se recomienda evidenciar en futuras investigaciones el efecto del endurecimiento por dispersión microscópicamente en hormigones sometidos a sulfatos.





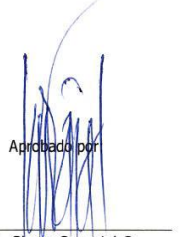
Referencias

- [1] American Concrete Institute ACI 201.2R. “Guía para la Durabilidad del Hormigón”.
- [2] L.M. Vélez. “Permeabilidad y Porosidad en Concretos” Revista Tecnológica, N°25, pp. 169-187, Diciembre 2010.
- [3] P.Yepes, “Hormigón en ambiente marino”, Guías Técnicas, pp. 6-7, Enero 2013.
- [4] Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos. NTE INEN 490.
- [5] Áridos. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio. NTE INEN 863.
- [6] Densidad Relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino y grueso. NTE INEN 856/857.
- [7] Áridos, determinación de la masa unitaria, (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. NTE INEN 858.
- [8] Áridos, determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles. NTE INEN 860.
- [9] Áridos, análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. NTE INEN 696.
- [10] Impurezas orgánicas NTE INEN 855.
- [11] Asocreto. “Tecnología del Concreto” (Asociación Colombiana de Productores de Concreto). Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas, Tomo 1, pp. 198-215.
- [12] Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo. NTE INEN 1576
- [13] A.R. Ramón, “Influencia de la fibra de yute en el diseño de hormigones para resistencia a la compresión de 21 a 35 MPa con agregados de la cantera de Pifo” Artículo Académico, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, Julio, 2017.
- [14] J.O. López, “Porosidad del Concreto”, Tesis de Graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, Enero 2014.
- [15] M.F. Triola, Estadística, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2004.
- [16] P. López, “Estudio sobre la Durabilidad de los nuevos tipos de cemento para la evaluación del comportamiento de morteros y hormigones frente a la Agresión Química de los Sulfatos y Agua de Mar” Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2015.
- [17] B. Camacho, “Estudio de la Influencia de los Medios con presencia de Sulfatos en Hormigones con Cementos Sulforresistentes y adiciones Minerales” Revista de la Construcción, Vol. 12 N° 2, pp. 25-27, 2013
- [18] Hormigón. Especificaciones, prestaciones, productos y conformidad. UNE-EN 206:2013+A1.

ANEXOS

Anexo 1

1.1. Análisis químico de agua

 UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN					
INFORME DE RESULTADOS AGUAS					
Referencia: OT-18-11-10-A Empresa: PARTICULAR Atención: Ing. Cristian Farinango Dirección: La Vicentina Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos Tipo de muestra: AGUA DE MAR Identificación de la muestra: AGUA DE MAR (17-11-2018) Descripción de la Muestra: Sin descripción específica Muestra tomada por: El cliente Fecha de ingreso de muestra: 2018-11-21 Código de la muestra: OE-18-11-10-A-1 Fecha de realización de ensayos: 2018-11-29 al 2018-12-10		Informe No: 18-11-10-A-1 Fecha: 2018-12-10			
DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	**Limite Max. Permissible
CLORUROS*	mg/l	MÉTODO INTERNO	19993,8	-	-
MAGNESIO*	mg/l	MÉTODO INTERNO	903,435	-	-
SODIO*	mg/l	APHA 3111 B	8100,000	-	-
SULFATOS*	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 4500 E	11628	-	-
<p>Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE. Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.</p> <p style="text-align: center;">Condiciones Ambientales.- Humedad 39 %, Temperatura: 20,3 °C</p>					
AN: ABO/DRA Realizado por: VRT		Revisado por:  Ing. Fernanda Toasa L. RESPONSABLE TÉCNICO		 Aprobado por:  Ing. Ghem Carvajal C. DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC	
ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.					
Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolívia		Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 QUITO - ECUADOR		E-mail: fiq.secretaria.dpec@ucc.edu.ec	
MC2201-A01-8		Hoja 1 de 2			



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
AGUAS

Informe No: 18-11-10-A-2
 Fecha: 2018-12-10

Referencia: OT-18-11-10-A
Empresa: PARTICULAR
Atención: Ing. Cristian Farinango
Dirección: La Vicentina
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: SOLUCIÓN DE SULFATO DE SODIO
Identificación de la muestra: SULFATO DE SODIO (20-11-2018)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Muestra tomada por: El cliente
Fecha de ingreso de muestra: 2018-11-21
Código de la muestra: OE-18-11-10-A-2
Fecha de realización de ensayos: 2018-11-29 al 2018-12-10

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	**Limite Max. Permissible
CLORUROS*	mg/l	MÉTODO INTERNO	625	-	-
MAGNESIO*	mg/l	MÉTODO INTERNO	267,124	-	-
SODIO*	mg/l	APHA 3111 B	184150,000	-	-
SULFATOS*	mg/l	PNE/DPEC/A/SM 4500 E	58950	-	-

Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
 Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.

Condiciones Ambientales.- Humedad 39 %, Temperatura: 20,3 °C

AN: ABO/DRA
 Realizado por: VRT

Revisado por:

Ing. Fernanda Toasa L.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Ghem Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-A01-8

Hoja 2 de 2



Anexo 2

2.1. Análisis químico de muestra de hormigón

	UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN													
INFORME DE RESULTADOS SUELOS														
		Informe No: 19-01-03-A-1 Fecha: 2019-01-17												
Referencia:	OT-19-01-03-A													
Empresa:	PARTICULAR													
Atención:	Ing. Cristian Farinango													
Dirección:	La Vicentina													
Tipo de ensayos:	Análisis fisicoquímicos													
Tipo de muestra:	HORMIGÓN													
Identificación de la muestra:	HORM 21MPa													
Identificación de la muestra:	Sin descripción específica													
Muestra tomada por:	El cliente													
Fecha de ingreso de muestra:	2019-01-14													
Código de la muestra:	OE-19-01-03-A-1													
Fecha de realización de ensayos:	2019-01-17													
<table border="1"><thead><tr><th>DETERMINACIÓN</th><th>UNIDADES</th><th>MÉTODO</th><th>RESULTADO</th><th>INCERTIDUMBRE (k=2)</th></tr></thead><tbody><tr><td>SULFATOS SOLUBLES*</td><td>mg/kg</td><td>APHA 4500-SO42-E</td><td>10,750</td><td>-</td></tr></tbody></table>					DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	SULFATOS SOLUBLES*	mg/kg	APHA 4500-SO42-E	10,750	-
DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)										
SULFATOS SOLUBLES*	mg/kg	APHA 4500-SO42-E	10,750	-										
Nota.- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.														
Condiciones Ambientales.- Humedad: 35 %; Temperatura: 21,1 °C														
AN: ABO Realizado por: VRT	Revisado por:  Ing. Fernanda Toasa, RESPONSABLE TÉCNICO		Aprobado por:  Ing. Ghem Carvajal DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC											
ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.														
Dirección: Enrique Ritter y Bolivia MC2201-A01-8	Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 QUITO - ECUADOR	E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec	Hoja 1 de 1											

Anexo 3

3.1. Análisis químico de muestras de hormigón con solución de sulfatos

		UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN													
INFORME DE RESULTADOS SUELOS															
			Informe No:	18-12-02-A-1											
			Fecha:	2018-12-20											
Referencia:	OT-18-12-02-A														
Empresa:	PARTICULAR														
Atención:	Ing. Cristian Farinango														
Dirección:	La Vicentina														
Tipo de ensayos:	Análisis fisicoquímicos														
Tipo de muestra:	Hormigón														
Identificación de la muestra:	CAPA EXTERNA														
Identificación de la muestra:	Sin descripción específica														
Muestra tomada por:	El cliente														
Fecha de ingreso de muestra:	2018-12-14														
Código de la muestra:	OE-18-12-02-A-1														
Fecha de realización de ensayos:	2018-12-19														
<table border="1"><thead><tr><th>DETERMINACIÓN</th><th>UNIDADES</th><th>MÉTODO</th><th>RESULTADO</th><th>INCERTIDUMBRE (k=2)</th></tr></thead><tbody><tr><td>SULFATOS SOLUBLES*</td><td>mg/kg</td><td>APHA 4500-SO42-E</td><td>25795,00</td><td>-</td></tr></tbody></table>						DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	SULFATOS SOLUBLES*	mg/kg	APHA 4500-SO42-E	25795,00	-
DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)											
SULFATOS SOLUBLES*	mg/kg	APHA 4500-SO42-E	25795,00	-											
Nota.- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE															
Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.															
Condiciones Ambientales.- Humedad 36 %; Temperatura: 21,9 °C															
AN: RHC Realizado por: VRT		Revisado por:		Aprobado por:											
 Ing. Fernanda Toasa. RESPONSABLE TÉCNICO				 Ing. Ghem Carvajal DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC											
ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.															
Dirección: Enrique Ritter y Bolivia		Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26		E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec											
MC2201-A01-8		QUITO - ECUADOR		Hoja 1 de 3											



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
SUELOS

Informe No: 18-12-02-A-2
Fecha: 2018-12-20

Referencia: OT-18-12-02-A
Empresa: PARTICULAR
Atención: Ing. Cristian Farinango
Dirección: La Vicentina
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: Hormigón
Identificación de la muestra: CAPA MEDIA
Identificación de la muestra: Sin descripción específica
Muestra tomada por: El cliente
Fecha de ingreso de muestra: 2018-12-14
Código de la muestra: OE-18-12-02-A-2
Fecha de realización de ensayos: 2018-12-19

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
SULFATOS SOLUBLES*	mg/kg	APHA 4500-SO42-E	11213,75	-

Nota.- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.

Condiciones Ambientales.- Humedad 36 %; Temperatura: 21,9 °C


AN: RHC
Realizado por: VRT

Revisado por:


Ing. Fernanda Toasa.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:


Ing. Ghem Carvajal
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
QUITO - ECUADOR

E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-A01-8

Hoja 2 de 3



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
SUELOS

Informe No: 18-12-02-A-3
Fecha: 2018-12-20

Referencia: OT-18-12-02-A
Empresa: PARTICULAR
Atención: Ing. Cristian Farinango
Dirección: La Vicentina
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: Hormigón
Identificación de la muestra: NÚCLEO
Identificación de la muestra: Sin descripción específica
Muestra tomada por: El cliente
Fecha de ingreso de muestra: 2018-12-14
Código de la muestra: OE-18-12-02-A-3
Fecha de realización de ensayos: 2018-12-19

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
SULFATOS SOLUBLES*	mg/kg	APHA 4500-SO42-E	3372,125	-

Nota.- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
Nota: Los resultados que constan en el presente informe sólo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.

Condiciones Ambientales.- Humedad 36 %; Temperatura: 21,9 °C

AN: RHC
Realizado por: VRT

Revisado por:

Ing. Fernanda Toasa
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Ghem Carvajal
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
QUITO - ECUADOR

E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-A01-8

Hoja 3 de 3