

CEMENTS AND SULFATES IN STRIP FOUNDATIONS

Manuel Rafael Urtega Toro, Ing¹; Efraín Romero Cerquín, Bach²
¹Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, manuel.urteaga@upn.pe,
² Universidad Privada del Norte, N00032690@upn.pe

Abstract– Concrete is often exposed to chemical attack, the most common and damaging being sulfates, which have a direct effect on its strength and durability, which is why there are several types of cement. This work has been based on the research called "Compressive strength of concrete to sulfate attack in strip foundations made with type I, MS and V cements - Cajamarca - 2020" [16], where a comparison of concrete with a $f'c=110\text{kg/cm}^2$, made with three types (type I, MS and V), of cement and that was exposed to three levels of sulfate attack: insignificant, moderate and severe according to the National Building Regulations. E.60 [4], where the simple concrete made with type V cement presented a higher resistance to sulfate attack, since its average reduction rate was 0.59%, for type MS it was 3.06% and for type I it was 21.40% with respect to the specimens without exposure to sulfate.

Keywords: Concrete, sulfate, compressive strength, types of cement, strip foundations.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.55>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

CEMENTOS Y SULFATOS EN CIMIENTOS CORRIDOS

Manuel Rafael Urtega Toro, Ing¹; Efraín Romero Cerquín, Bach²
¹Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, manuel.urteaga@upn.pe,
² Universidad Privada del Norte, N00032690@upn.pe

Resumen– El concreto muchas veces se encuentra expuesto a un ataque químico, el más común y perjudicial es el de sulfatos que tienen un efecto directo en su resistencia y durabilidad, por lo que existen varios tipos de cemento. Este trabajo se ha basado en la investigación denominada “Resistencia a la compresión del concreto al ataque de sulfatos en cimientos corridos elaborados con cementos tipo I, MS y V – Cajamarca – 2020” [16], donde se hace una comparación del concreto con un $f'c=110\text{kg/cm}^2$, elaborado con tres tipos (tipo I, MS y V), de cemento y que fue expuesto a tres niveles de ataque de sulfatos: insignificante, moderado y severo según el Reglamento Nacional de Edificaciones. E.60 [4], donde el concreto simple elaborado con cemento tipo V presentó una resistencia mayor al ataque de sulfatos, ya que su tasa de reducción en promedio fue de 0.59 %, para el tipo MS fue 3.06 % y para el tipo I fue 21.40 % con respecto a los especímenes sin exposición al sulfato.

Palabras clave: Concreto, sulfato, resistencia a la compresión, tipos de cemento, cimientos corridos.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas del sector construcción es la durabilidad del concreto que se relaciona directamente con la vida útil de las infraestructuras y rentabilidad de los proyectos [1].

Una de las causas más frecuentes que deterioran al concreto es el ataque químico de sulfatos tales como los sulfatos de sodio, calcio y magnesio que se encuentran en los suelos, aguas freáticas y agua de mar, los cuales reaccionan con el aluminio tricálcico y la cal libre presentes en los concretos de cemento Portland. El concreto en presencia de soluciones de sulfatos forma sulfoaluminato de calcio por reacción química con los aluminatos, en presencia de la cal libre y la humedad, desarrollándose un gel expansivo con gran aumento de volumen, lo que origina en el concreto expansión, agrietamiento y destrucción [2].

Los cementos Portland se clasifican en [3]:

- Cemento tipo I: normal (destinado a obras de hormigón en general).
- Cemento tipo II: moderada resistencia a los sulfatos.

- Cemento tipo III: alta resistencia inicial.
- Cemento tipo IV: bajo calor de hidratación.
- Cemento tipo V: alta resistencia a los sulfatos.

Para determinar los niveles de exposición del concreto se ha tomado en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones E60, como se muestra en la Tabla 1 [4]

TABLA 1
REQUISITOS PARA CONCRETO EXPUESTO A SOLUCIONES DE SULFATOS [4]

Exposición a sulfatos	Sulfatos solubles en agua (SO ₄) presente en suelo (% en peso)	Sulfato (SO ₄) en agua, ppm	Tipo de cemento
Insignificante	$0,0 \leq \text{SO}_4 < 0,1$	$0 \leq \text{SO}_4 < 150$	-
Moderada	$0,1 \leq \text{SO}_4 < 0,2$	$150 \leq \text{SO}_4 < 1500$	II, IP (MS) IS (MS) IPM (MS) I (SM) (MS)
Severa	$0,2 \leq \text{SO}_4 < 2,0$	$1,500 \leq \text{SO}_4 < 10,000$	V
Muy Severa	$2,00 < \text{SO}_4$	$10,000 < \text{SO}_4$	Tipo V + Puzolana

Los cimientos corridos son cimentaciones superficiales, también se los conoce como cimentaciones continuas, tienen una relación Profundidad/ancho (D_f/B) menor o igual a 5, donde; D_f es la profundidad de la cimentación y B es el ancho o diámetro de esta [5].

En la tesis denominada “Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto utilizando cementos adicionados sometidos a acción de Sulfatos – Ancón, 2019”, cuyo objetivo fue determinar la resistencia a la compresión del concreto con una relación $a/c=0.53$, elaborado con cementos adicionados y expuestos a la acción de sulfatos en tres niveles moderado, agresivo y muy agresivo; con periodos de exposición de 28 y 45 días. Se usaron tres marcas de cemento: Sol tipo I, Ultra Andino e Inka Anti. A los 28 días de exposición el concreto elaborado con los cementos adicionados Inka Anti y Ultra Andino expuestos a los tres niveles de agresividad de sulfatos no muestran pérdida de resistencia sino un aumento progresivo, sin embargo el concreto de cemento Sol Tipo I en exposición moderada su pérdida de resistencia fue de 32.80% y 20.23% en exposición agresiva [6].

Por otro lado, en la tesis “Estudio de la corrosión del concreto de mediana resistencia por efecto de los sulfatos utilizando cemento Quisqueya tipo I–Lima 2018”, tiene como objetivo determinar la relación entre la corrosión del concreto y los ataques por sulfatos para una resistencia de $a/c=0.60$, $a/c=0.55$, $a/c=0.50$; con una concentración de sulfato de magnesio ($MgSO_4$) de 1 400 mg/lit (A), 9 500 mg/lit (B) y 50 000 mg/lit (C) para un periodo de inmersión de 14, 21 y 28 días. Finalmente se concluye que las probetas expuestas en un periodo de 14, 21 y 28 días al ataque corrosivo del sulfato de magnesio se verificó la reducción de peso y reducción de esfuerzo a la compresión; para la relación $a/c=0.60$ a 28 días ante una exposición de sulfato tipo A llegó a 0.24%, para una exposición tipo B la corrosión creció a 8.57% y para una exposición tipo C la corrosión llegó a 17.88%; para la relación $a/c=0.55$ a 28 días ante una exposición de sulfato tipo A llegó a 1.82%, para una exposición tipo B la corrosión creció a 19.17% y para la exposición tipo C la corrosión llegó a 20.40%; para la relación $a/c=0.50$ a 28 días la variación porcentual por deterioro a una exposición de sulfato tipo A llegó a 0.07%, para una exposición tipo B la corrosión creció a 0.27% y la exposición tipo C la corrosión llegó a 1.93% [7].

La finalidad de este trabajo es realizar un análisis comparativo del concreto simple de $f'c=110$ kg/cm² utilizado en cimientos corridos de viviendas, elaborado con cemento tipo I, MS y V marca Pacasmayo, con la finalidad de determinar el efecto que tienen los sulfatos en la resistencia del concreto con la exposición a tres niveles de ataque tales como insignificante, moderado y severo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. *Cemento*

El cemento Portland tipo I, MS y V.

B. *Agregado fino y grueso*

El agregado fino y grueso proviene de la cantera “Río Cajamarquino”, distrito de Jesús, provincia Cajamarca, departamento Cajamarca.

C. *Sulfato*

El tipo de Sulfato que se utilizó fue el sulfato de Magnesio ($MgSO_4$) por ser uno de los más agresivos con el concreto y de fácil adquisición, el cual será disuelto en el agua durante el curado. Se tomó en cuenta tres niveles de ataque: 149 ppm (insignificante), 1499 ppm (moderado) y 9999 ppm (severo). Una ppm (parte por millón) = 1mg/l = 0.001g/l.

D. *Agua*

El agua empelada fue potable la cual se empleó para la mezcla y para el curado.

E. *Ensayos de laboratorio*

Peso específico del cemento hidráulico: NTP 334.005 [8], permite conocer el volumen que ocupará una masa determinada de cemento, en este caso cemento Portland Tipo I, MS y V, dentro de una mezcla.

Contenido de humedad: NTP 339.185 [9], sirve para obtener la masa húmeda de algún agregado, que es necesario para la corrección de contenido de agua en la fase del diseño de mezclas del mortero.

Análisis granulométrico mediante el tamizado: ASTM D 422 [10], sirve para conocer la masa húmeda del agregado y poder utilizarlo en la corrección por humedad del diseño de mezcla para el mortero o concreto

Peso unitario del agregado fino y grueso: NTP 400.017 [11], sirve para determinar el peso unitario suelto o compactado y el cálculo de vacíos en el agregado fino.

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino: NTP 400.022 [12], para determinar el peso específico seco, el peso específico húmedo saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción de agregado fino.

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso: NTP 400.021 [13], para determinar el peso específico seco, el peso específico húmedo saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción de agregado fino.

Resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas: NTP 339.034 [14], para determinar la resistencia a la compresión de 108 probetas elaboradas con concreto elaborado con cementos Pacasmayo tipo I, MS y V con agregados de río.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se realizaron 3 probetas por nivel de exposición de sulfato (sin ataque, insignificante, moderado y severo), por 3 periodos de curado (7, 14 y 28 días), por los 3 tipos de cemento (I, MS, y V), haciendo un total de 108 probetas.

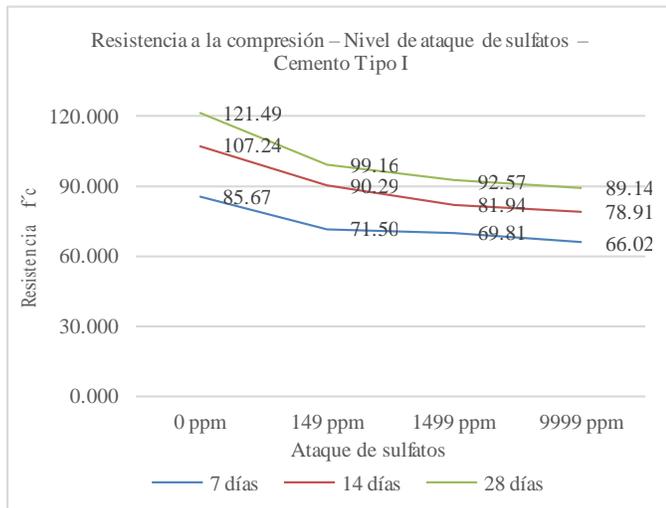


Fig. 1 f'c respecto al ataque de sulfato en el cemento tipo I [16]

TABLA 2

F'c RESPECTO AL ATAQUE DE SULFATO Y VARIACIÓN - CEMENTO TIPO I [16]

Nivel de ataque de sulfatos	Cemento tipo I					
	7 días		14 días		28 días	
	f'c	%	f'c	%	f'c	%
Sin Ataque	85.67		107.24		121.49	
Insignificante (149 ppm)	71.50	-16.54	90.29	-15.81	99.16	-18.38
Moderado (1499 ppm)	69.81	-18.51	81.94	-23.59	92.57	-23.81
Severo (9999 ppm)	66.02	-22.93	78.91	-26.43	89.14	-26.63
Variación promedio %	-21.40					

En la Figura 1 y la Tabla 2 muestra que el ataque de sulfato tiene un efecto negativo en la resistencia del concreto elaborado con cemento tipo I en los tres niveles de ataque, a los 28 días varía entre -18.38% para un nivel insignificante y -26.63% para un nivel severo. [16]

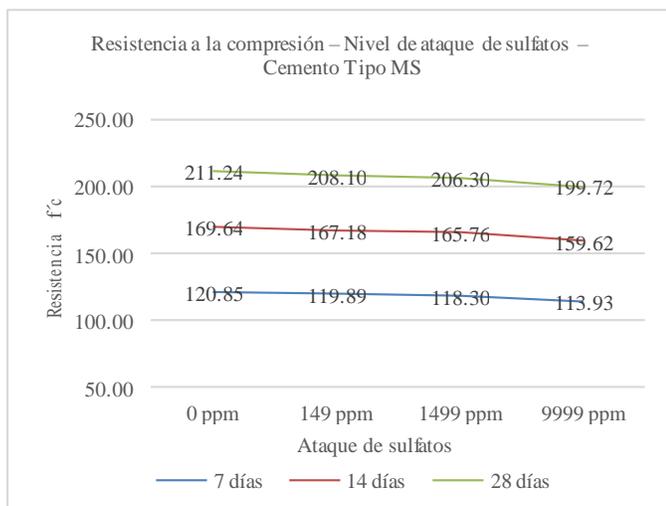


Fig. 2 f'c respecto al ataque de sulfato en el cemento tipo MS [16]

TABLA 3
F'c RESPECTO AL ATAQUE DE SULFATO Y VARIACIÓN - CEMENTO TIPO MS [16]

Nivel de ataque de sulfatos	Cemento tipo MS					
	7 días		14 días		28 días	
	f'c	%	f'c	%	f'c	%
Sin Ataque	120.85		169.64		211.24	
Insignificante (149 ppm)	119.89	-0.08	167.18	-1.45	208.10	-1.49
Moderado (1499 ppm)	118.30	-2.11	165.76	-2.29	206.30	-2.34
Severo (9999 ppm)	113.93	-5.73	159.62	-5.91	199.72	-5.45
Variación promedio %	-3.06					

La Figura 2 y Tabla 3 se muestra que el concreto elaborado con cemento tipo MS a los 7 días de curado ya cumple con el diseño propuesto de f'c=110 kg/cm², también observamos en la Tabla 3 que la exposición al sulfato tiene un efecto negativo en la resistencia del concreto, a los 28 días varía entre -1.49% para un nivel insignificante y -5.45% para un nivel severo. [16]

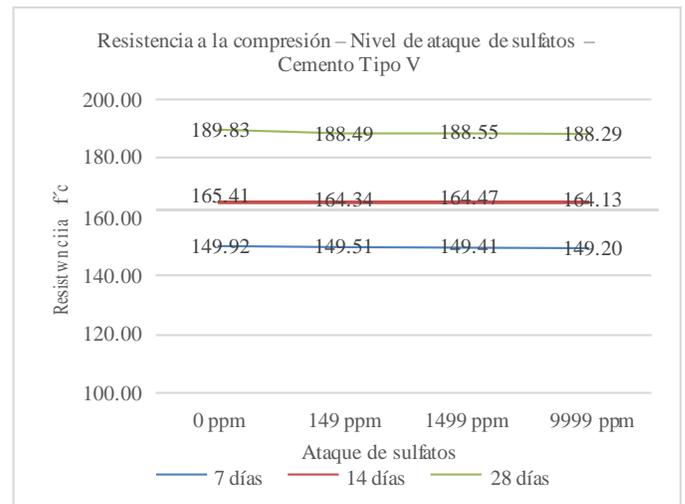


Fig. 3 f'c respecto al ataque de sulfato en el cemento tipo V [16]

TABLA 4

F'c RESPECTO AL ATAQUE DE SULFATO Y VARIACIÓN - CEMENTO TIPO V [16]

Nivel de ataque de sulfatos	Cemento tipo V					
	7 días		14 días		28 días	
	f'c	%	f'c	%	f'c	%
Sin Ataque	149.92		165.41		189.83	
Insignificante (149 ppm)	149.51	-0.27	164.34	-0.65	188.49	-0.71
Moderado (1499 ppm)	149.41	-0.34	164.47	-0.57	188.55	-0.68
Severo (9999 ppm)	149.20	-0.48	164.13	-0.77	188.29	-0.81
Variación promedio %	-0.59					

En la Figura 3 y tabla 4 observamos que el concreto elaborado con cemento tipo V a los siete días de curado cumple con diseño de mezcla 110kg/cm² propuesto incluso ante un

ataque severo del sulfato, existe una variación negativa en todos los niveles de ataque, pero menor al 1%. [16]

Cuando se comparan los resultados con [6], podemos decir que en ambas investigaciones existe una variación negativa en la resistencia a la compresión en el concreto elaborado con cemento Sol tipo I y nuestro concreto elaborado con cemento Pacasmayo tipo I, pero existe una diferencia en el ataque severo ya que [6] ha obtenido una variación de -20.23% y nosotros -26.63% a los 28 días de curado, esto principalmente por la diferencia en la relación a/c ya que [6] ha utilizado 0.53 contra la nuestra que es de 0.76.

En relación con [7], podemos decir que también existe una variación negativa de la resistencia a la compresión ante una exposición de sulfatos, pero nuestro concreto elaborado con cemento Pacasmayo tipo I presenta una mayor variación en la resistencia ya que a los 28 días de curado y una exposición severa obtenemos -26.63 con una relación a/c=0.76 y [7] -8.57% con una relación a/c=0.6 en relación a los especímenes sin exposición al sulfato, al igual que con [6] la gran diferencia es que [7] ha utilizado una relación a/c menor.

Podemos decir que para atenuar los efectos dañinos sobre el concreto podemos utilizar una relación a/c baja o cementos especialmente diseñados para soportar los diferentes niveles de ataque de sulfatos según las necesidades que el usuario necesite teniendo en cuenta el máximo de seguridad y el menor costo compatible con las exigencias.

En Cajamarca la presencia de sulfatos como se indica en [15], están presentes en los ríos o quebradas cercanas a los proyectos mineros tal es el caso de la quebrada Sinchao – Hualgayoc que presenta 1422.60 ppm en sus aguas, esto nos hace pensar que a través de las lluvias y filtraciones pueden llegar a otras cuencas y así contaminar los suelos.

La implicancia práctica de esta investigación es dar a conocer a la población en general que existen diferentes tipos de cemento para cada necesidad que se presente en las obras como la presencia de sulfatos, además de incentivar a realizar los estudios de suelos para así determinar la existencia de agentes químicos nocivos al concreto y escoger el mejor cemento para el concreto con la finalidad de evitar costos presentes y futuros de los proyectos. Desde el punto de vista metodológico esperamos contribuir a incrementar la literatura que se relacionan con los cementos que son resistentes a los ataques de sulfatos y que sirva de guía los estudiantes de Ingeniería Civil en futuras investigaciones.

Para futuras investigaciones en el tema se recomienda realizar pruebas con diferentes $f'c$, también hacer una investigación comparando diferentes marcas de cemento con un $f'c$ uniforme para todos los especímenes.

Según la investigación realizada, se observa que el concreto elaborado con cemento Pacasmayo Tipo V, es el más apto para soportar ataques de sulfatos hasta en un nivel severo, pero en Cajamarca es difícil agenciarse de este tipo de cemento por lo que se sugiere usar el tipo MS, además de tener un menor costo en relación con el tipo V.

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo con la investigación podemos determinar que el concreto elaborado con cemento Portland tipo I con $f'c=110$ kg/cm² es más susceptible a sufrir daño cuando es expuesto a un ataque de sulfatos lo que a su vez se traduce en una mayor pérdida de resistencia a la compresión; por otro lado, el concreto elaborado con cemento Portland tipo MS y V con $f'c=110$ kg/cm² presentan mejor comportamiento al ataque de sulfatos y su resistencia en las pruebas de compresión no se ven muy afectadas. [16]

El método que se utilizó para el diseño de mezclas de concreto para cimientos corridos con un $f'c=110$ kg/cm² fue el ACI Comité 211 – 1 – 91, obteniéndose el siguiente diseño de proporción en peso de materiales. 1:2.98:3.90 / 30.48 lt/bolsa. [16]

Mediante los ensayos de resistencia del concreto endurecido con $f'c=110$ kg/cm² elaborado con cemento Portland Tipo I, MS y V, para los ataques: Insignificante, moderado y severo de sulfatos para edades de 7, 14 y 28 días de curado; Se concluye que los tres tipos de concreto pierden resistencia a la compresión; apreciándose el cemento Portland tipo I es el más afectado tal como muestran los resultados: cemento Pacasmayo Tipo I; para 7 días, ataque insignificante 16.54%, moderado 18.51% y severo 22.93%; para 14 días, ataque insignificante 15.81%, moderado 23.59% y severo 26.43%; para 28 días, ataque insignificante 18.38%, moderado 23.81% y severo 26.63%. Cemento Tipo MS; para 7 días, ataque insignificante 0.80%, moderado 2.11% y severo 5.73%; para 14 días, ataque insignificante 1.45%, moderado 2.29% y severo 5.91%; para 28 días, ataque insignificante 1.49%, moderado 2.34% y severo 5.45%. Cemento Tipo V; para 7 días, ataque insignificante 0.27%, moderado 0.34% y severo 0.48%; para 14 días, ataque insignificante 0.65%, moderado 0.57% y severo 0.77%; para 28 días, ataque insignificante 0.71%, moderado 0.68% y severo 0.81%. [16]

Finalmente, después de evaluar los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión del concreto $f'c=110$ kg/cm² elaborado con cemento Portland Tipo I, MS y V, expuestos a un ataque insignificante; moderado y severo de sulfatos para edades de 7, 14 y 28 días de curado. Podemos decir que el uso de cemento Pacasmayo tipo I para el concreto de cimientos corridos no es apto para suelos con la presencia de sulfatos ya que su resistencia a la compresión tiene una pérdida entre 18.38% – 26.63% a los 28 días de curado, en cambio el concreto elaborado con cemento Pacasmayo Tipo

MS la pérdida de resistencia varía entre 1.49% - 5.45% a los 28 días de curado y el Tipo V la pérdida de resistencia varía entre 0.71% - 0.81% a los 28 días de curado; mostrando una mayor resistencia al ataque de sulfatos en suelos que incluso presentan un ataque de nivel severo. [16]

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mi asesor por su ayuda en la presente investigación, al laboratorio de mecánica de suelos concreto y pavimentos R&H Consultoría e Ingeniería en Construcción y Servicios Generales SRL y a la Universidad Privada del Norte.

REFERENCIAS

- [1] Hernández, O., & Mendoza, C.J. (2005). Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico. (Artículo Revista). División de estudios de posgrado, facultad de ingeniería, UNAM e Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F., México. Recuperado el 18 de diciembre de 2020 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432006000100005
- [2] Rivva, E (2015). Diseño de mezclas. Tercera edición. Lima, Perú.
- [3] ASTM C 150. Tipos de cementos portland. Recuperado el 12 de enero de 2021 de <https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Revista%20ACI%20No%202%20especificaciones%20cemento.pdf>
- [4] Norma E.060. Concreto armado. Reglamento nacional de edificaciones (2009). Lima, Perú. Recuperado el 11 de enero de 2021 de <https://drive.google.com/file/d/1YygoHSNpu2-UjLmSa-C1Wxr6oFAfCwA/view>
- [5] Norma E.050. Suelos y cimentaciones. Reglamento nacional de edificaciones (2018). Lima, Perú. Recuperado el 12 de enero de 2021 de https://cdn-web.construccion.org/normas/me2012/me2006/files/titulo3/02_E/2018_E050_RM-406-2018-VIVIENDA.pdf
- [6] Vega, M. (2019). Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto utilizando cementos adicionados sometidos a acción de sulfatos – Ancón, 2019. (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad César Vallejo. Lima, Perú. Recuperado el 11 de enero de 2021 de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/47181>.
- [7] Chacón, M. (2018). Estudio de la corrosión del concreto de mediana resistencia por efecto de los sulfatos utilizando cemento Quisqueya tipo I – Lima 2018. (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad César Vallejo. Lima, Perú. Recuperado el 11 de enero de 2021 de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25013/Chac%C3%B3n_QMJ.pdf?sequence=1
- [8] INDECOPI, “NTP 334.005. CEMENTOS. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Portland, 2011.
- [9] INDECOPI, “NTP 339.185. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- [10] ASTM D-422, AASHTO T88, J.E. Bowles (Experimento N°5), MTCE 107-2000. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
- [11] INDECOPI, “NTP 400.017. Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad y los vacíos en los agregados, 2011.
- [12] INDECOPI, “NTP 400.022. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino, 2013.
- [13] INDECOPI, “NTP 400.021. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso, 2013.
- [14] INDECOPI, “NTP 339.034. CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas, 2015.
- [15] Cieza, W., & Guevara, M. A. (2020). Influencia del tiempo y espesor de capa de caliza sobre la remoción de hierro total y sulfatos mediante un humedal artificial de un drenaje ácido de minas del distrito de Hualgayoc, Cajamarca 2020. (Tesis para optar el título de ingeniero ambiental y prevención de riesgos). Universidad Privada Antonio Guillermo Urelo. Cajamarca, Perú. Recuperado el 13 de enero de 2021 de <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1464/TESIS%20FINAL%20Wilder%20-%20Miguel.%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [16] Romero, E., Urteaga M., (2021). Resistencia a la compresión del concreto al ataque de sulfatos en cimientos corridos elaborados con cemento Tipo I, MS y V – Cajamarca – 2020. (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú. Recuperado el 15 de mayo de 2022 de https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29794/Tesis_%20Efra%20Romero%20Cercu%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y