

Análisis comparativo de la resistencia en el concreto a partir del tipo de fibra y adición de endurecimiento

Abigail Zepeda Castillo¹, Anthony Sánchez Ramírez², Carolina Rojas Lobo³

abigail.zepeda@ucr.ac.cr, anthony.sanchezramirez@ucr.ac.cr, diana.rojaslobo@ucr.ac.cr

RESUMEN

Las fibras sintéticas han sido utilizadas para mejorar la resistencia y fuerza del concreto a lo largo de los años. Por su parte, el aditivo aporta a la aceleración del proceso de endurecimiento del concreto, mejorando la resistencia en menor tiempo, por lo que en el presente estudio se analizó el efecto que tienen estos factores sobre la resistencia promedio del concreto. Se tomaron dos tipos de fibra sintéticas (híbrida y monofilamento), asimismo se toma en cuenta el uso o desuso del aditivo a la mezcla de concreto. Para obtener estos resultados se realizó un experimento de diseño factorial. Se encontró que no hay interacción entre los niveles de los factores asociados. No se encontraron diferencias significativas entre las medias de tipos de fibra y el uso de aditivo tiene un efecto sobre la resistencia promedio del concreto.

PALABRAS CLAVE: híbrida, monofilamento, aditivo.

INTRODUCCIÓN

El hormigón o mejor conocido como concreto es un material muy utilizado para la construcción de estructuras tales como casas, edificios, puentes, entre otros. Debido a su uso es importante analizar, evaluar y determinar cuáles mecanismos son más útiles para reforzar el material y que el mismo tenga más resistencia y fuerza para evitar fallas posteriores durante su uso. El concreto es un tipo de cemento que se mezcla con ciertos suplementos. Uno de estos suplementos son pequeñas y discretas fibras, de varios materiales, que están distribuidas aleatoriamente por toda la masa del concreto, para sustituir así las mallas de alambre de acero en el momento de la construcción, es decir, la malla colocada antes de verter el concreto (Álvarez, Pujadas, De la Fuente Pujadas & Aguado de Cea, 2010).

Las fibras convencionales o de acero fueron las más utilizadas durante muchos años para que el concreto obtuviera más fuerza y resistencia. Sin embargo, estudios recientes han encontrado que este tipo de fibra puede presentar algunos problemas. Según Toxement S.A(2017) uno de los principales inconvenientes que se dan al usar este tipo de fibras es la corrosión del acero que posteriormente conlleva a la obtención de un óxido en el hierro, el cual presenta más volumen que el acero inicial. Este aumento del volumen provoca presiones internas en el deterioro del concreto generando fisuras, grietas y futuros daños que pueden llevar a que una estructura colapse.

En la actualidad las construcciones y proyectos inmuebles son cada vez más novedosos, como la construcción de edificios de gran altura, con diferentes formas y ángulos, entre otras obras de

arquitectura e ingeniería, y conllevan un proceso complejo en su construcción y ciertos peligros. Por este motivo se deben modificar los mecanismos de seguridad para tener mayor confianza y estar preparados para posibles desastres. Estos avances son posibles con la creación de nuevos materiales, tales como fibras sintéticas, que ayudan al concreto a obtener una mayor durabilidad y resistencia a tensiones más fuertes. Entre estas fibras sintéticas se encuentran las acrílicas, híbridas, aramidas y de monofilamento, que corresponden a las innovaciones tecnológicas más destacadas en los últimos años en temas relacionados al concreto (Álvarez et al,2010).

La incorporación de estas nuevas fibras no solamente sirven para dar más confianza en temas de resistencia a los ingenieros y arquitectos, también permiten la reparación y refuerzos de las estructuras construidas; incluso presentando una mayor durabilidad en las estructuras, trayendo esto una gran ventaja en lo económico, ya que no será necesario reemplazar estructuras completas cuando estas presenten problemas (Giaccio,Bossio, Monetti, Morea, Torrijos & Zerbino,2013).

Por otra parte, para que el concreto dé resultados más rápidos se toman en cuenta los aditivos, estos son líquidos que se agregan en la etapa de mezclado del concreto que modifican las propiedades de este para un mejor desempeño del concreto cuando está endurecido. Uno de sus usos más importantes está orientado a la reducción del costo de la obra con su incorporación, dado que se logran mezclas con menores cuantías de cemento, desarrollo de resistencias iniciales altas con tiempos de manejabilidad adecuados al flujo de fundida, concretos diseñados por durabilidad (Toxement S.A, 2019).

En el 2021 los investigadores Rosario y Veliz llevaron a cabo un estudio para determinar la óptima racionalización de la fibra de monofilamento para mejorar las propiedades del concreto. Se estudió el asentamiento, contracción plástica, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y durabilidad del concreto, añadiendo la fibra de monofilamento. Tomando datos de tesis y artículos científicos donde se desarrollaron de manera experimental evaluaciones de los resultados obtenidos. Con los resultados concluyeron que la fibra de monofilamento no aporta una mejora en la trabajabilidad, específicamente a las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

El investigador Arboleda (2018) realizó un estudio con el fin de presentar a los directores, especificadores y calculistas una opción de mejorar los tiempos de ejecución de obra, con características que encaminan la disminución de costos y el aumento de la calidad del concreto. Con base en los resultados analizados se observó la eficiencia de los concretos modificados con fibras sintéticas respecto al concreto convencional.

Este estudio tiene como base probar la eficiencia de diferentes productos que se han venido usando para el reforzamiento y resistencia del concreto. Dada la importancia de crear un concreto de alta calidad que cumpla las normas y reglas seguras para las nuevas construcciones, surge la iniciativa de este estudio ya que es necesario que el concreto sea resistente y con una alta durabilidad, que durante y después del proceso de construcción no ponga en riesgo la seguridad de las personas, de acá la importancia de no llegar a conclusiones erróneas sobre que producto mejora lo ya antes mencionado. Otro aspecto relevante es el tema económico, ya que se pueden evitar grandes pérdidas financieras para una empresa al evitar el uso de productos que no dan una diferencia significativa en la resistencia.

Las fibras pueden ser de diferentes materiales al igual que los aditivos, para términos de este proyecto se trabaja con la fibra sintética estructural híbrida capaz de reducir la contracción plástica (grietas en el concreto formadas inmediatamente después de verterlo), además aumenta ductilidad y durabilidad del concreto. Por otra parte, la fibra monofilamento presenta una producción más amigable con el ambiente, se destaca por ser más dispersa, se afina mejor al agua y mejor fuerza para enlazarse, además si en la mezcla se usa el aditivo acelerador el cual se encarga de agilizar el proceso de endurecimiento en la etapa final.

Uno de los objetivos principales de este estudio es determinar el producto que genere mayor resistencia en el concreto con el fin de garantizar la optimización del concreto esto mediante pruebas de fallo. Además, se busca comparar dos tipos de fibra sintética; la fibra híbrida con la fibra monofilamento para definir si existen diferencias significativas en las resistencias y analizar si el uso de aditivos aceleradores genera mejores resultados en la resistencia en menor tiempo del concreto.

METODOLOGÍA

Para esto, se realiza un análisis experimental en el cual la unidad experimental concierne al concreto. El primer punto importante de destacar es que este experimento consta de un diseño de dos factores de diseño, cada factor cuenta con dos niveles, para un resultado de cuatro tratamientos. El primer factor de diseño a considerar es el tipo de fibra; fibra sintética estructura híbrida; RUREDIL X FIBER 54 (RXF 54): diseñado para mejorar la durabilidad y las propiedades mecánicas del concreto, además aumenta la resistencia a la flexión, la ductilidad, la resistencia a la fatiga del concreto (SAHE S.A, 2006). Fibra sintética monofilamento; SH Monofilamento 20 pp: es producida con la más alta tecnología, modificada agregándole aditivos funcionales o un tratamiento superficial. Resistente a fisuras, grietas y mejora la resistencia al impacto y a la filtración (SAHE S.A, s.f.).

El segundo factor de diseño es el aditivo, por lo que como niveles del factor se tienen si usa o no aditivo en el concreto. El aditivo usado será SH Ergo 4000 PG-50, su función principal es acelerar el proceso de secado, es decir, puede influir en que el concreto presente una mayor resistencia en un menor tiempo comparado con un concreto sin aditivo. Además, permite la realización de concretos que reducen drásticamente las burbujas superficiales, mejorando la calidad estética del concreto. (SAHE S.A, s.f.).

De esta forma, el experimento consta de 4 tratamientos los cuales provienen de los niveles de ambos factores:

- Fibra tipo monofilamento con aditivo.
- Fibra tipo monofilamento sin aditivo.
- Fibra tipo híbrida con aditivo.
- Fibra tipo híbrida sin aditivo.

El tamaño de muestra se definió con un total de 24 cilindros y 6 réplicas por tratamiento, teniendo así un diseño factorial balanceado. Para la recolección de los datos se van a utilizar cilindros

especiales para probar la resistencia en el concreto. Estos cilindros se rellenan con concreto y su respectivo tratamiento para iniciar medición de la resistencia medida en siendo esta la variable respuesta. Como instrumento de medición tenemos la máquina de pruebas de compresión, que es una máquina especial que somete los cilindros anteriormente mencionados bajo presión y permite medir la resistencia del cilindro relleno de concreto a este proceso se le llama pruebas de fallo. Cabe recalcar que todas las pruebas de fallo se realizan en una misma máquina. El experto plantea que una diferencia significativa en la resistencia de los tratamientos es de 30 kg/cm^2 . La resistencia mínima que puede adquirir el concreto es de 280 kg/cm^2 en un periodo de reposo en agua de 28 días. Para términos de este experimento se trabaja con un periodo de 3 días.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el software estadístico R (R Core Team, 2021), y las librerías car (Fox y Weisberg, 2011), ggplot2 (Wickham, 2016), pwr (Champely, 2020).

Ahora bien, se busca realizar un diseño con dos factores de diseño. Por lo tanto, el modelo matemático correspondiente a este diseño es:

$$\mu_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

- μ_{ij} : la media de la resistencia del concreto en el ij-ésimo tratamiento.
- μ : la media general de la resistencia del concreto
- α_i : el efecto de la i-ésima tipo de fibra, i puede tomar valores de 1 a 2, porque se tienen dos tipos de fibra.
- β_j : el efecto de la j-ésima uso de aditivo, j puede tomar valores de 1 a 2, porque se puede agregar o no el aditivo.

RESULTADOS

Con el fin de identificar resultados generales, se realiza un análisis descriptivo de la muestra, Tabla 1, primeramente, se tiene la media de la resistencia 256.4 kg/cm^2 con una resistencia mínima de 234.9 kg/cm^2 y una máxima de 273.3 kg/cm^2 , esta se considera adecuada dado el tiempo de reposo que se tuvo. Posteriormente se analizan los datos de acuerdo con cada tratamiento.

Tabla 1

Medidas de tendencia central y de dispersión para los distintos tratamientos.

	Mediana	Media	Variancia	Mínimo	Máximo
Monofilamento con aditivo	257.98	259.86	31.77	255.84	270.93
Monofilamento sin aditivo	250.51	248.71	57.13	235.16	255.71
Híbrida con aditivo	266.48	267.90	17.98	263.32	273.26

Híbrida sin aditivo	249.80	249.13	91.85	234.92	260.52
---------------------	--------	--------	-------	--------	--------

En relación con las medidas de tendencia central, para el tratamiento fibra monofilamento con aditivo y fibra híbrida con aditivo, se observa que tienen un valor de la media y mediana mayor con respecto a los otros dos tratamientos a los cuales no se les aplicó aditivo. El tratamiento que cuenta con la menor media es monofilamento sin aditivo, lo cual es de esperar ya que la fibra de tipo monofilamento es la que peores resultados ha tenido en estudios anteriores con respecto a mejorar la resistencia del concreto.

Para analizar la variabilidad, se puede observar que el tratamiento híbrido sin aditivo muestra la mayor varianza, evidenciando que los datos que pertenecen a este tratamiento tienen mucha variabilidad, mientras que el tratamiento híbrido con aditivo tiene la menor variabilidad de los datos. En lo que respecta a los mínimos y máximos, el tratamiento híbrido sin aditivo tiene el menor valor de los datos, entretanto el mayor valor de los datos se encuentra en el tratamiento híbrido con aditivo.

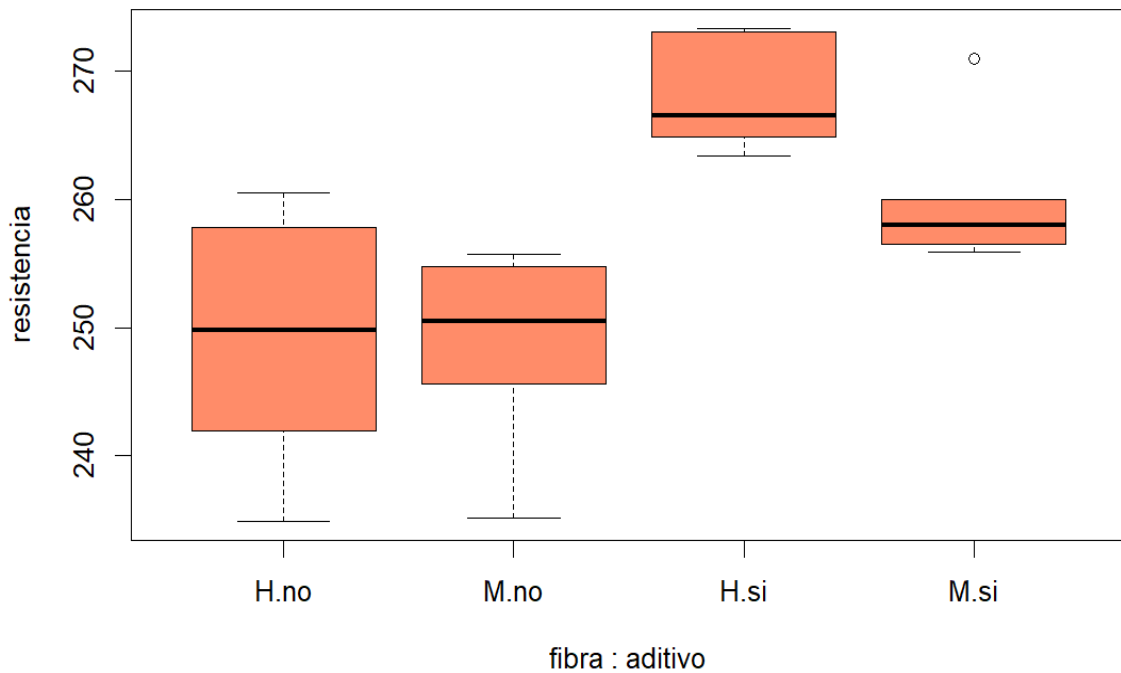
Ahora bien, una vez realizado el análisis descriptivo, con el fin de llevar a cabo las comparaciones requeridas, se necesita verificar los supuestos del modelo planteado:

1. Normalidad: a partir de la Figura 3 (ver Anexos), se identifica que una cantidad considerable de los puntos se sitúan alrededor de la línea teórica y están contenidos dentro de las bandas de confianza, o muy cerca de ellas. No hay presencia de valores extremos.
2. Independencia: se asume este supuesto, ya que en la Figura 4 se puede observar la dispersión de los datos, no hay ningún patrón en los mismos.
3. Homocedasticidad: dado que se tiene normalidad, se realiza la prueba de Bartlett, y se determina que se cumple el supuesto en cuestión, por lo que hay homogeneidad de varianzas ($p=0.3513$, $\alpha=0.05$).

Gráficamente se puede observar que, para el tratamiento híbrido sin aditivo, la variabilidad es alta comparada con los otros tratamientos, sin embargo, con la prueba formal no se detectan diferencias en las varianzas. Por otro lado, con este gráfico podemos ir analizando si se observan diferencias entre medias. Las diferencias más notorias son con respecto al uso del aditivo, estas aumentan cuando si hay presencia del aditivo en el concreto.

Figura 1

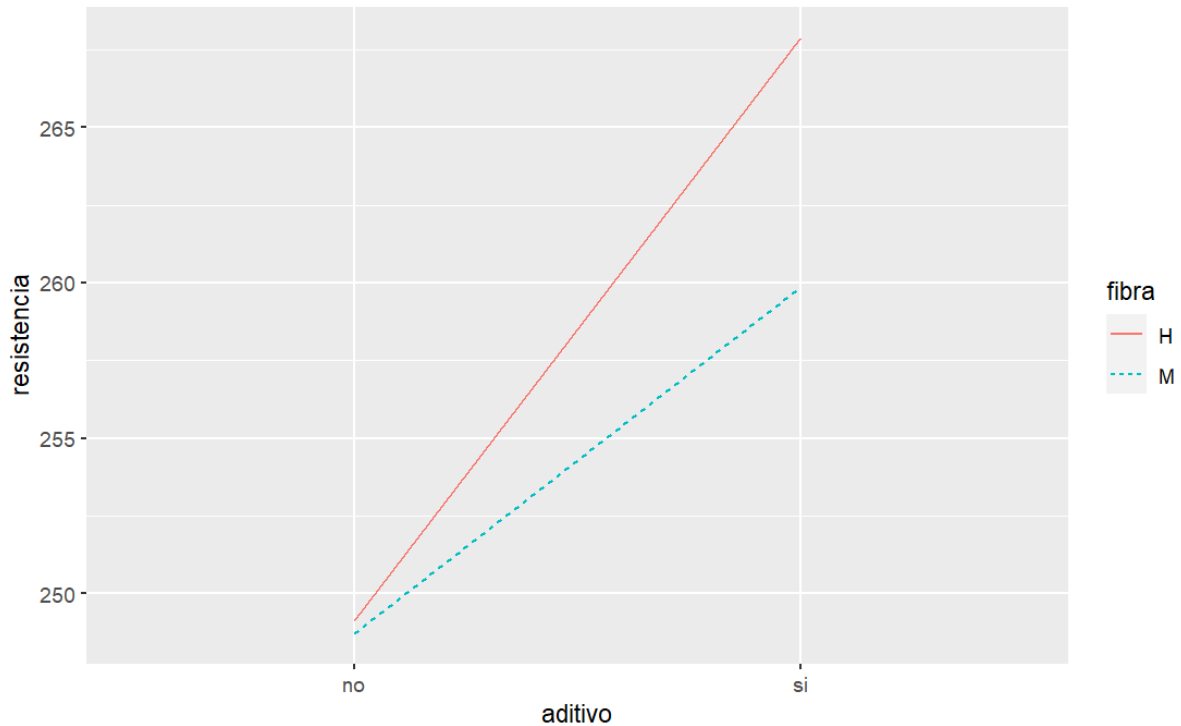
Variabilidad de la resistencia según los distintos el tratamiento.



En este punto, cabe mencionar que, para llevar a cabo las comparaciones deseadas, se requiere determinar si existe interacción entre los factores del estudio. En la Figura 2 se puede notar que la distancia entre fibra híbrida y monofilamento es mucho más pequeña cuando no se le aplica aditivo al concreto que cuando si se aplica, aumentando la distancia entre las medias de los dos tipos de fibra. Gráficamente se espera que exista interacción, agregado a esto, se puede observar que para ambos tipos de fibra aumenta la resistencia cuando se usa el aditivo, esto da indicios de que el uso de aditivo si tiene efecto en mejorar la resistencia. Tras realizar la prueba de análisis de varianza, se asume que no existe interacción entre los factores ya que se tiene una probabilidad asociada de 0.2006 contra un nivel de significancia de 0.05, no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que la interacción es cero. Por lo que el efecto de tipo de fibra es independiente de los niveles de aditivo.

Figura 2

Promedios de la resistencia de tipo de fibra y uso de aditivo.



Por lo tanto, el análisis se realiza para cada factor por separado. Tomando en cuenta que no hay presencia de interacción entre tipo fibra y uso de aditivo, dado que es de interés analizar el efecto del tipo de fibra sobre la resistencia del concreto y determinar si el uso de aditivo mejora la resistencia, se procede bajo un modelo sin interacción donde se encuentra que para el tipo de fibra no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias ($p=0.1635$, $\alpha=0.05$). Esto indica que en el experimento realizado y bajo esa cantidad de réplicas no existe suficiente evidencia estadística que demuestre que entre fibra híbrida y fibra monofilamento hay diferencias entre sus medias.

Esto, no sucede con el uso de aditivo y como se observó anteriormente en el gráfico existe un mayor efecto en la resistencia cuando se usa el aditivo. Con una probabilidad asociada de 0.00004638 contra un alfa 0.05 se encuentran diferencias significativas entre las medias del uso de aditivo.

Tabla 2

Cota inferior para las diferencias asumidas como significativas entre los niveles de aditivo.

	Cota Inferior	Probabilidad Asociada	Nivel de significancia
Si-No	9.92	0.0002	0.05

Se concluye con un 95% de confianza, que la diferencia mínima entre los promedios del uso de aditivo y no uso de aditivo es de 9.92 kg/cm^2 (Tabla 2). Por lo que no se logra detectar una diferencia mínima relevante debido a que la señalada por el experto es de 30 kg/cm^2 . Esto quiere

decir que si bien hay diferencias entre uso no son lo suficientemente relevantes para demostrar cambios en los tratamientos.

Con el fin de tener cierto nivel de seguridad de que se obtienen las conclusiones correctas, es necesario realizar el cálculo de la potencia de la prueba, para determinar la probabilidad de encontrar diferencias, cuando en realidad las hay. En otras palabras, si se rechaza la hipótesis cuando la hipótesis es falsa quiere decir que estamos tomando la decisión correcta, por lo tanto, es la capacidad de la prueba de ver diferencias cuando realmente las hay. Para ver una diferencia entre las medias del tipo de fibra de $30kg/cm^2$, se tiene una potencia de 1. Lo cual es una señal de que la potencia es perfecta, es decir, con seguridad se tomaron las decisiones correctas, y no existen diferencias entre las medias de tipo de fibras.

CONCLUSIONES

A partir del presente estudio, se logra determinar que las medias de los factores del diseño son independientes entre sí, esto lo que quiere decir es que no influye el uso de aditivo en la resistencia para los niveles del factor fibra; y que el tipo de fibra no influye en la resistencia para los niveles del factor aditivo

Pues se obtuvo que, el uso de aditivo tiene un efecto en la resistencia promedio del concreto sin importar si el tipo de fibra es sintética híbrida o monofilamento. Esto se podría deber a que, como lo menciona Toxement S.A (2019) al agregar estos a la mezcla del concreto, modifican las propiedades de este para un mejor desempeño del concreto cuando está endurecido.

En cuanto al tipo de fibra, esta no tiene un efecto sobre la resistencia promedio del concreto. Este resultado puede generar contradicción, dado que en el estudio realizado por el investigador Arboleda (2018) se obtuvo como resultado la eficiencia que se tienen en los concretos modificados con fibras sintéticas respecto al concreto convencional. Por otra parte, otros autores incluso han encontrado diferencias entre los tipos de fibra como mencionan Rosario y Veliz (2021) en su estudio, donde llegaron a concluir que el tipo de fibra monofilamento no aporta una mejora en las propiedades físicas del concreto, específicamente en la resistencia.

Por lo que en términos generales se puede concluir que, si bien no hay diferencias significativas con las medias tipos de fibra, se ve una tendencia a la que mayor aporte da a la resistencia es la fibra híbrida y más aún cuando el tratamiento conlleva aditivo, esto porque se puede notar que el uso de aditivo aumenta la resistencia

De igual modo, para futuros análisis exploratorios, podría contemplarse incorporar más factores en el estudio experimental o aumentar la cantidad de réplicas, que puedan ser de ayuda para explicar la resistencia en el concreto, por ejemplo, más días del concreto en estado de reposo, condiciones ambientales (si el clima es más húmedo o seco) y el tipo de concreto, ya que dependiendo del tipo se requieren distintas durabilidades.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Blanco, A, Pujadas Álvarez, P, De la Fuente Pujadas, A & Aguado de Cea, A. (2010) Análisis comparativo de los modelos constitutivos del hormigón reforzado con fibras. *Hormigón y Acero* 61(255), 73-83. https://www.researchgate.net/profile/Albert-DeLaFuente2/publication/263348199_Analisis_comparativo_de_los_modelos_constitutivos_del_hormigon_reforzado_con_fibras/links/550453170cf231de0771208e/Analisis-comparativo-de-los-modelos-constitutivos-del-hormigon-reforzado-con-fibras.pdf
- Arboleda Botina, G (2018). Estudio de factibilidad técnica y económica para la elaboración de concreto, reemplazando la malla electrosoldada por fibras sintéticas [Proyecto presentado para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos, Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium] https://repository.unicatolica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12237/1564/ESTUDIO_FACTIBILIDAD_T%C3%89CNICA_ECON%C3%93MICA_ELABORACI%C3%93N_CONCRETO_REEMPLAZANDO_MALLA_ELECTRO_SOLDADA_FIBRAS_SINT%C3%89TICAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Champely, Stephane. (2020). pwr: Basic Functions for Power Analysis. R package version 1.3-0. URL: <https://github.com/heliosdrm/pwr>
- Fox and Sanford Weisberg (2019). An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Giaccio, M., Bossio, E., Monetti, H., Morea, Francisco, C., y Zerbino, L.(2013). Microfibras sintéticas para el refuerzo de hormigón. Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica. <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/2004>
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rosario Cordova, L. Veliz Torres, F (2021). Fibra de polipropileno monofilamento para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Rodrigo Palma] http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/4755/T030_73879659_T%20ROSARIO%20CORDOVA%20LUIS%20ENRIQUE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SAHE Representaciones Internacionales S.A, s.f. SH Fibra Monofilamento 20 pp
<https://sahesa.com/web/wp-content/uploads/2019/04/SH-Fibra-Monofilamento-20-PP.pdf>

SAHE Representaciones Internacionales S.A, s.f. SH Ergo 4000 PG-50
<https://sahesa.com/web/wp-content/uploads/2020/09/SH-ERGO-4000-PG-50.pdf>

SAHE S.A (2006). Ruredil X Fiber 54 Fibra Sintética Estructural Híbrida
<http://sahesa.com/fichaspdf/RuredilXFiber54.pdf>

Toxement S. A (2019). Aditivos para Concretos. Euclid Group Toxement
https://www.toxement.com.co/media/3797/brochure_aditivos-compressed.pdf

Toxement S. A (2017). Patología corrosión en el acero de refuerzo. Euclid Group Toxement
https://www.toxement.com.co/media/3413/patologia_corrosio-n.pdf

Wickham,H.(2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.

ANEXOS

Figura 3

Residuales contra cuantiles teóricos de la distribución normal a partir de los datos.

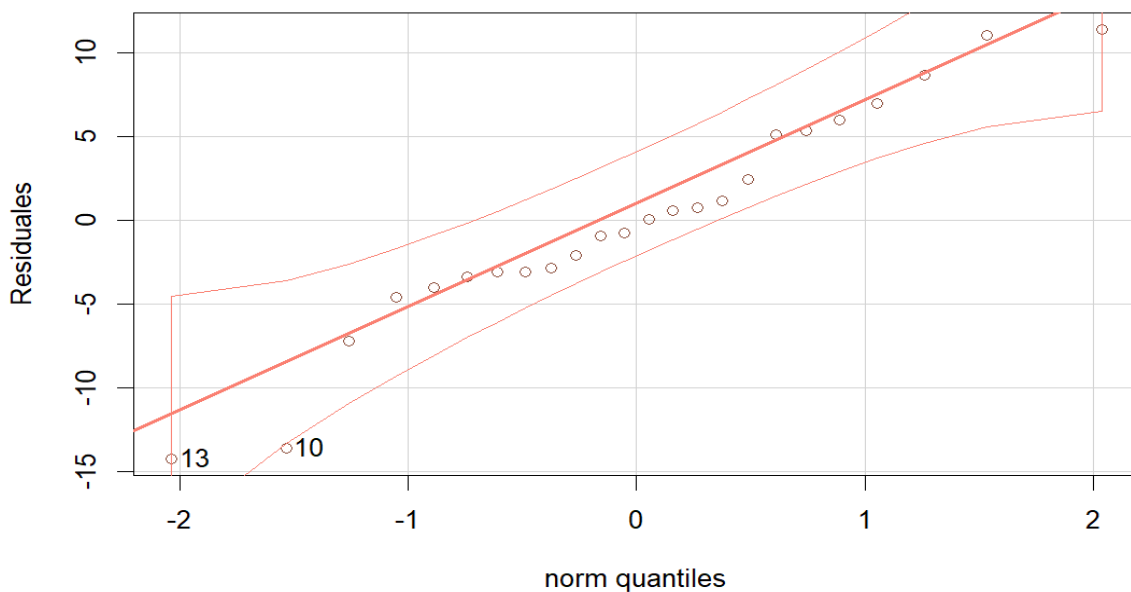


Figura 4

Supuesto de independencia de los residuales

