

VIABILIDAD TÉCNICA DEL USO DE FORMALETAS PARA ENCOFRADO DEL CONCRETO MEDIANTE UNA FACHADA DE ESPEJOS PARA PROTEGER DE LA ACCIÓN DE LOS RAYOS DEL SOL

JAIRO STEWAR MOLINA MARTIN

Estudiante. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Santo Tomás de Aquino

e-mail: jairomolina@ustavillavo.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9563-6954>

Villavicencio-Colombia

JUAN DAVID GUATEQUE MENDOZA

Estudiante. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Santo Tomás de Aquino

e-mail: juanguateque@ustavillavo.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5547-6039>

Villavicencio-Colombia

Resumen

Introducción: Colombia presenta estaciones climáticas con variaciones en temperatura, humedad y radiación solar, ocasionando patologías que afectan la fabricación y desempeño del concreto en su vida útil, se busca una manera de mitigar estos efectos adversos al plantear la viabilidad del uso de formaleatas metálicas con fachadas de espejo,

Métodos: Se realiza una investigación de carácter mixto, el proceso conllevó la búsqueda de literatura existente referente a propiedades mecánicas del concreto y la variación de estas bajo los agentes externos del clima, luego se examinaron los resultados de los ensayos de compresión arrojados por la máquina universal de tensión-compresión.

Resultados: La formaleata con fachada de espejos reduce la exposición al sol del concreto, porque se evidencia que los especímenes que tienen la fachada mejoran la resistencia del 14% en promedio.

Conclusiones: Es viable el uso de formaleata con fachada de espejos, aunque la inversión inicial es mayor debido a la inclusión de los espejos, esto se traduce en mejora de la resistencia y reducción de gastos en mantenimiento en un futuro.

Originalidad: Se fomentan la inclusión de un nuevo material como lo son los espejos en la construcción, generando innovación al plantear una solución para reducir la exposición al sol del concreto.

Limitaciones: Realizar otro tipo de laboratorios debido a la maleabilidad del espejo.

Palabras clave: Concreto, compresión, encofrado, Resistencia, formaleta.

1. INTRODUCCIÓN

La producción y uso del concreto en Colombia ha tenido un crecimiento significativo en los últimos años, impulsado por el desarrollo urbano y la expansión de la industria de construcción en un 26% promedio anual [1]. Colombia es un país que tiene ciudades con diferentes estaciones climáticas, por lo cual, es más probable que factores como la temperatura, humedad, radiación solar y ciclos estacionales afecten directamente al concreto causando patologías [2]. Esta variedad climática impulsa al constante avance y modificación de las prácticas de construcción habituales, incentivando la investigación de nuevos modelos no utilizados en el mercado [3], como lo son, las fachadas de espejo.

Existen países como Arabia Saudita que plantean la construcción de NEOM, una ciudad que se enfoca en conocer los retos de un futuro próximo en un ámbito de construcción civil, en donde se promueva un equilibrio entre el entorno humano y natural. El principal reto de Arabia Saudita son las altas temperaturas que presenta su territorio, debido a que se busca que el concreto logre alcanzar sus máximas propiedades mecánicas [4]. Por lo tanto, el motivo principal de la investigación en Arabia Saudita y con el cual nos vemos relacionados y enfocados en cumplir, es encontrar métodos constructivos que brinden soluciones a las patologías del concreto sometido a altas temperaturas, como lo es la aparición temprana de fisuras, dicho esto las fachadas de espejos podrían ofrecer una posible respuesta al principal reto que existe en estos lugares [5].

Conociendo la influencia de los agentes climáticos sobre el concreto, se plantea una investigación experimental basada en la realización de pruebas de laboratorio con muestras de concreto. Se parte de la selección de las proporciones para cada una de las mezclas, la mezcla uno con una resistencia de diseño de 3000 psi, la mezcla dos de 4000 psi, la mezcla tres de 4500 psi. Se construyeron 12 muestras totales, repartidas de la siguiente manera, 4 cilindros para cada tipo de diseño de mezcla, donde 2 de ellos tenían fachada con espejos y los otros 2 en condiciones normales. El proceso de mezclado y encofrado se realizó de manera habitual, luego se continua a la simulación de los factores climáticos, las 12 muestras fueron expuestas al sol y agua en una piscina, con la diferencia del recubrimiento especial de la fachada de espejos, se mantuvieron durante 14 y 28 días en los cuales el concreto alcanza diferentes resistencias a obtener [6]. Para fallar las 12 muestras se utilizó una máquina

universal de tensión-compresión de marca Alfa y modelo HSC 100T V C3, la cual consiste en dos partes esenciales, una para pruebas de tensión y compresión [11], y un método para observar la fuerza aplicada. La máquina universal permite realizar varios tipos de ensayo como, resistencia y deflexión en vigas, compresión de concreto, esfuerzo cortante, resistencia a la tracción, resistencia en columnas [7].

La investigación en la que se basa el presente artículo tuvo como objetivo general evaluar la viabilidad técnica y económica del uso de formaletas con fachada de espejos para el encofrado de concreto, para lo cual se llevaron a cabo las siguientes etapas: revisión de literatura, construcción de muestras, curado, ensayos de compresión y análisis e interpretación de resultados. Finalmente, se concluye con la viabilidad del uso de formaletas de metal con fachadas de espejo.

1.1 Revisión de literatura o antecedentes de investigación

La historia del encofrado empieza a la par de la del hormigón, debido a que este último es prácticamente un líquido en su etapa inicial y es casi obligatorio utilizar un molde para darle una forma efectiva a la estructura. Para la construcción de edificaciones el ser humano siempre se las ha ingeniado para encontrar materiales cementantes, como la arcilla, la cal y yeso, lo que principalmente utilizaban para unir piezas. Un ejemplo clásico son los veteranos muros de mampostería que se remontan desde hace unos 15,000 años. En el siglo 3 a.c los romanos descubrieron una especie de súper cemento natural, producto de la ceniza volcánica, en una comuna costera de Nápoles llamada Pozzouli y es aquí donde el agua y la ceniza reaccionan con la roca y se aglutinan para convertirse en un prototipo de hormigón. [16]

De acuerdo a lo anterior, las técnicas de encofrado han mejorado notablemente a través de los años, ya en la actualidad existen nuevos retos como lo es NEOM. Es una ciudad que está proyectada a ser construida en el noroeste de Arabia Saudi la cual nos permite conocer los retos del futuro próximo a los cuales debemos enfrentarnos, NEOM, el proyecto más ambicioso del mundo simboliza un gran avance para la humanidad y encarna una visión futurista en términos de tecnología. Como ejemplo de creatividad en la preservación ambiental, se convertirá en un destino y hogar para aquellos que deseen formar parte de un nuevo modelo de vida extraordinaria [4]. La ciudad ha abrazado el proyecto LINE como un modelo de futuro, promoviendo un equilibrio saludable entre el entorno humano y natural. Esto demuestra un impulso hacia la implementación de ciudades inteligentes en Arabia

Saudita. Una "ciudad inteligente", según IBM, utiliza la tecnología de información y comunicación para integrar datos vitales y satisfacer diversas necesidades, como vida diaria, preservación ambiental, seguridad y servicios urbanos. La ciudad de THE LINE consistirá en comunidades interconectadas, fortalecidas por la inteligencia artificial, a lo largo de 170 kilómetros de terreno libre de ruido, contaminación, automóviles y congestión de tráfico. NEOM aborda los desafíos de la expansión urbana, como la infraestructura deteriorada, la contaminación y el crecimiento descontrolado. Su gestión se basa en los recursos disponibles en el entorno actual y aprovecha la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, como la energía solar y eólica [4].

El uso de formaletas para encofrado del concreto mediante una fachada de espejos para protegerlo de la acción de los rayos del sol es altamente conveniente [17]. En primer lugar, busca abordar un desafío común en la construcción en climas cálidos, además, su implementación permitirá controlar adecuadamente el proceso de fraguado y garantiza la calidad y durabilidad de las estructuras construidas [2].

En cuanto a la relevancia social, los constructores y profesionales del sector de la construcción se beneficiarán al tener a su disposición una técnica innovadora y efectiva. Así mismo, se agilizan los tiempos de construcción y mejoran la eficiencia de los proyectos [17], generando empleo y promoviendo el crecimiento económico local, sujeto al cumplimiento de las normativas y regulaciones vigentes en el campo de la construcción [12].

Teniendo en cuenta lo anterior, mediante este documento se presenta una propuesta para realizar una aproximación al estudio de viabilidad técnica y económica de usar formaletas con una fachada de espejos. El estudio, planteará las bases para la investigación en este campo que propenda, más adelante, a garantizar la integridad estructural de las edificaciones ubicadas en zonas cálidas y cumplir con las disposiciones de la norma de construcción sismo resistente de Colombia (NSR-10).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Construcción encofrado y fachada de espejos

2.1.1 Formaleta metálica

Son elementos clave en la construcción moderna, proporcionando una solución eficiente y versátil para la creación de estructuras de concreto. Su resistencia, reutilización y capacidad

para adaptarse a diferentes diseños hacen de ellas una opción popular en proyectos de construcción. Las medidas de la formaleta son 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Fig. 2. FORMALETA METÁLICA.



Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Fachada de espejos

La fachada utilizada es de un espejo de 0.4 cm de espesor y el cual está compuesto por 4 caras laterales y 1 cara que está en la parte superior. Se construyeron 12 especímenes, pero solo en 6 se emplearon las fachadas de espejos para poder comparar las resistencias. Se debe tener en cuenta que la parte inferior va abierta para introducirla en la fachada metálica.

TABLA I
CONSTRUCCIÓN FACHADA DE ESPEJOS

PRISMA	DIMENSIONES (cm)	ESPESOR (cm)	COSTO UNITARIO
ALTURA	35	0.4	\$ 45000
ANCHO	18	0.4	
LARGO	18	0.4	

Fig. 3. FACHADA DE ESPEJOS



Fuente: Elaboración propia

2.2 Cantidades y tiempo de fraguado de los especímenes de concreto.

Para el desarrollo de la investigación se construyeron cuatro especímenes por cada mezcla, para otorgar una mayor precisión en la variación de resistencia a la compresión, permitiendo evaluar las muestras a los 14 y 28 días.

TABLA II
DISEÑO DE MEZCLA PARA CADA ESPECÍMEN

DISEÑO DE MEZCLA			
	MEZCLA 1	MEZCLA 2	MEZCLA 3
CEMENTO	TIPO 1	TIPO 1	ESTRUCTURAL
CEMENTO (Kg)	1,85	2,22	2,22
ARENA (Kg)	2,96	3,55	3,55
GRAVA (Kg)	4,45	3,55	3,55
AGUA (L)	0,95	1,16	1,16

TABLA III
CARACTERISTICAS PRINCIPALES PARA EL FRAGUADO DEL CONCRETO

FRAGUADO			
Cantidad de días	14 y 28		
Dimensiones del tanque	ALTURA (cm)	ANCHO (cm)	LARGO (cm)
	38	63	155
Porcentaje de sumergibilidad	100%		
Temperatura promedio mensual (septiembre 2023)	27° c		

2.3 Curado del concreto

El curado en agua es un método efectivo para mantener la humedad del concreto, lo que favorece la hidratación adecuada del cemento y, en última instancia, contribuye a la resistencia y durabilidad del material. Debido a esto las 12 muestras se colocaron en un tanque lleno de agua y expuesto al sol para que alcanzaran la resistencia esperada, teniendo en cuenta que la mitad se cubrían con la fachada de espejos.

Fig. 4. TANQUE DE FRAGUADO DE LAS MUESTRAS



Fuente: Elaboración propia

Fig. 5. MUESTRAS EXPUESTAS A LA ACCION DE LOS RAYOS DEL SOL



Fuente: Elaboración propia

2.4 Laboratorio de resistencia a la compresión

Siguiendo la norma técnica colombiana, se llevó a cabo el ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto [7]. En este laboratorio, se sometieron los cilindros de concreto a cargas graduales hasta que se produjo su fractura, la cuál permitió determinar la resistencia máxima que logró soportar cada muestra.

Fig. 6. MÁQUINA UNIVERSAL COMPRESIÓN-TENSIÓN



Fuente: Universidad Santo Tomás de Aquino

3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de carga arrojados por la máquina universal compresión-tensión, también se evidencian algunas patologías expuestas en las muestras de concreto.

Fig. 7. PATOLOGÍAS DEL CONCRETO.

Las muestras sin fachada de espejos presentan fisuras, desprendimientos y lixiviación, producto de la exposición al sol y agua.

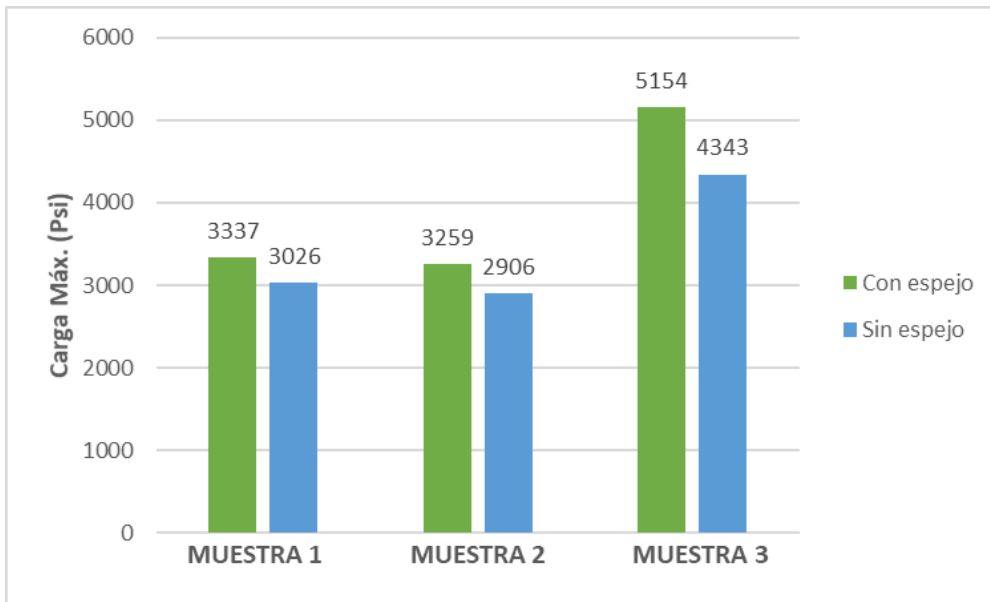


Fuente: Elaboración propia

**TABLA IV
MUESTRAS EXPUESTAS POR 14 DÍAS**

	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
Fachada	SI	NO	SI	NO	SI	NO
Carga máx. (Psi)	3337	3026	3259	2906	5154	4343
Incremento de resistencia (%)		10%		12%		18%
Tiempo (Seg)	29,32	26,77	27,92	26,22	43,82	36,85

Fig. 8. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS EN 14 DÍAS.

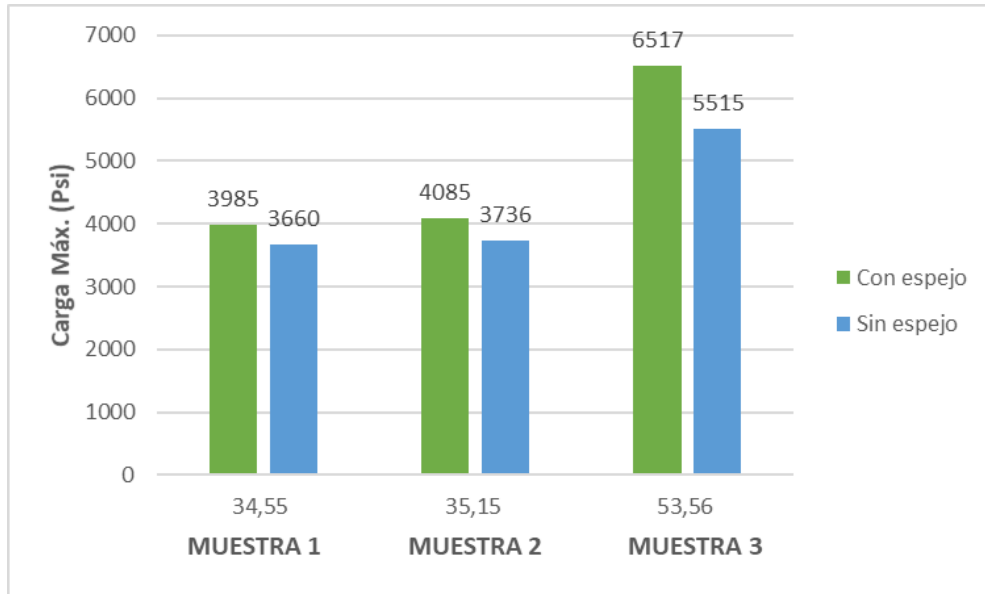


Fuente: Elaboración propia

**TABLA V
MUESTRAS EXPUESTAS POR 28 DIAS**

	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO
Fachada						
Carga máx. (Psi)	3985	3660	4085	3736	6517	5515
Incremento de resistencia (%)	9%		15%		18%	
Tiempo (seg)	34,55	31,28	35,15	30,82	53,56	45,94

Fig. 9. RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MUESTRAS EN 28 DÍAS.



Fuente: Elaboración propia

Ya obtenidos los resultados de la investigación se plantean discusiones y recomendaciones por medio de una matriz cualitativa.

**TABLA VI
MATRÍZ CUALITATIVA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

Formaleta	Descripción	Ventajas	Desventajas
Metálica con fachada de espejo	Son formaletas metálicas pero con una variación en su parte externa debido a una fachada de espejos, la cual cumple el papel de reducir la exposición al sol y al agua.	<ul style="list-style-type: none"> -Reducción en los costos de mantenimiento. -Se reduce la exposición al ambiente, evitando patologías. -Mayor resistencia en las estructuras y aumento de la vida útil del concreto, porque la fachada no permite que el concreto esté expuesto totalmente al sol. 	<ul style="list-style-type: none"> -Más costos debido a la implementación de la fachada de espejos. -Dificultad en la manejabilidad de los espejos y adaptarlos al encofrado. -El espejo es un elemento de cuidar en el momento de transportarlo.
Metálica	Son estructuras modulares utilizadas en la construcción para dar forma y soporte a elementos de concreto, como columnas vigas, muros y losas.	<ul style="list-style-type: none"> -Son más económicas. -Permite reutilización en múltiples obras. -Son más económicas en cuanto inversión inicial. 	<ul style="list-style-type: none"> -Proveen menos resistencia de carga máxima. -Brindan menos protección al concreto en cuanto al ambiente expuesto,

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el desarrollo de la investigación, se dimensionaron muestras de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro, expuestas a condiciones ambientales a una temperatura media – alta, entre 14 y 28 días para evaluar su comportamiento y determinar patologías en el concreto que afecten su integridad [8], durabilidad o apariencia. En el caso de las 6 muestras de concreto sin la fachada de espejos y expuestas al sol y al agua se lograron evidenciar consecuencias como fisuras, desprendimientos, eflorescencia (depósitos blancos en la superficie) y lixiviación (pérdida de componentes solubles). Estas condiciones surgen debido a factores como exposición ambiental, mezcla y colocación inadecuada o calidad de los materiales, lo cual, puede tener consecuencias sustanciales en la durabilidad y estabilidad de las estructuras [9], comprometiendo la resistencia del concreto, aumentando el riesgo de colapso y la necesidad de costosas reparaciones. La gestión proactiva y medidas preventivas son esenciales para mitigar estas consecuencias y preservar la calidad a largo plazo de las construcciones de concreto [10].

El uso de fachadas de espejo ha revelado una mejora substancial en la resistencia estructural de las muestras de concreto, evidenciada por un aumento de la resistencia a la compresión de 5515 psi a 6517 psi en el caso de la Tabla V y muestra 3, en donde el concreto alcanzó su máxima resistencia. Este incremento del 15.38 % es una capacidad de carga superior y sugiere una mayor capacidad para resistir tensiones externas, contribuyendo a la integridad estructural en el tiempo. Este análisis cuantitativo respalda la justificación para aplicar fachadas de espejo en proyectos de construcción, dando una perspectiva robusta sobre el impacto positivo en rendimiento estructural y gestión financiera en el ciclo de vida de la estructura [12].

La elección entre formaletas metálicas con fachada de espejos y de metálicas sin fachada de espejos en cuanto construcción vistas en la Tabla VI, implica considerar varios aspectos. Si analizamos las formaletas metálicas con fachadas de espejos ofrecen más resistencia, durabilidad y reutilización, pero a un costo inicial más alto, por otro lado, las formaletas metálicas sin fachada de espejos tienen un mayor riesgo de daño en el momento de transportarlas y adaptarlas. La decisión dependerá de factores como el presupuesto, la durabilidad requerida y las características específicas del proyecto que se requieran.

Ingeniería Solidaria

Estas formaleas no solo ofrecen un aspecto estético atractivo, sino que también contribuyen a aumentar la resistencia del concreto, proporcionando una barrera eficaz contra la infiltración de agua y los efectos perjudiciales de la radiación solar. Al integrar tecnologías que mejoran la calidad y durabilidad del concreto, se abren perspectivas para construcciones más resistentes y sostenibles en el tiempo, por lo tanto, la inversión en estas soluciones no solo preserva la integridad estructural, sino que también reduce la necesidad de costosas reparaciones, destacando la importancia de la innovación en la construcción para enfrentar los desafíos ambientales. Se recomienda el uso de fachadas de espejo en proyectos de construcción para optimizar la durabilidad de las estructuras de concreto y reducir los costos de mantenimiento.

5. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a los distinguidos profesores de Ingeniería Civil cuya invaluable orientación y apoyo fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Su experiencia y dedicación han sido una guía fundamental en nuestro camino hacia el conocimiento y la excelencia académica. Su contribución ha enriquecido significativamente este trabajo, y estamos agradecidos por la oportunidad de aprender bajo su tutela. Extendemos nuestro profundo agradecimiento al Ingeniero Hugo Alfredo Silva, cuya experiencia y asesoramiento fueron pilares fundamentales en el desarrollo de esta investigación. Agradecemos también a nuestros directores Alexander Solarte Benavides y Bregy Choque Jimenes por su invaluable contribución y apoyo durante todo el proceso. Sus conocimientos y perspectivas enriquecieron significativamente nuestro trabajo, haciéndolo más robusto y completo.

No obstante recalcar el agradecimiento a nuestras familias, cuyo constante apoyo y comprensión fueron esenciales en cada fase de esta investigación. Su aliento incondicional y paciencia han sido el pilar que nos ha permitido dedicarnos plenamente a este proyecto académico. Agradecemos a nuestros seres queridos por su amor y respaldo, que han sido la fuerza impulsora detrás de nuestros logros.

6. REFERENCIAS

[1] A, M, García, M, A Ibarra, J, D, Alzate. "universidad externado de colombia facultad de administración de empresas especialización en gerencia de mercadeo."(2023).

[2] S, J, Forman P, Mark P. "Influence of Rapid Heat Treatment on the Shrinkage and Strength of High-Performance Concrete. Materials." (2021).

URL: <https://doi.org/10.3390/ma14154102>

[3] Z. G. Zhu, K. P. Hou, H. F. Sun, Y. Cheng, B. J. Yang, W. Sun, "Research on the Effect of Curing Temperature, Steel Fiber, and Admixture Content on Concrete Performance Based on Orthogonal Test in Cold Region", Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2022, Article ID 3671823, 10 pages, (2022).

URL: <https://doi.org/10.1155/2022/3671823>

[4] A.S. Amna, et al. "The Smart City-Line in Saudi Arabia: Issue and Challenges." Postmodern Openings 13.1 Sup1 (2022).

URL: <https://doi.org/10.18662/po/13.1Sup1/412>

[5] A. P. Danny. "Determinación y evaluación de las patologías del concreto en el canal de regadío, desde las progresivas 1+ 100 a 2+ 100 ubicado en el centro poblado Huallhua, distrito de Huaccana, provincia de Chincheros, región Apurímac", Mayo-2017. (2017).

URL: <https://hdl.handle.net/20.500.13032/2880>

[6] F,P. Alexandra Jimena, and Gianfranco Mesta Bocanegra. "Análisis de la resistencia a la abrasión del concreto con el encofrado metálico comparado al tradicional de madera". (2018).

URL: <https://hdl.handle.net/20.500.12759/4172>

[7] M. P. Ernesto Alberto. "Evaluación de la resistencia a la compresión en cilindros de concreto mediante el ensayo destructivo ntc 673 y pulso ultrasonico NTC 4325." (2015).

URL: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/11227>

[8] DE, Reglamento colombiano, and construcción sismo resistente. "NSR-10." (2010).

[9] F.P, Alexandra Jimena, and Gianfranco Mesta Bocanegra. "Análisis de la resistencia a la abrasión del concreto con el uso de encofrado metálico en comparación al encofrado tradicional de madera." (2018).

URL: <https://hdl.handle.net/20.500.12759/4172>

[10] G.P, Lucero del Carmen. "Análisis de los principios de la gestión de calidad, de la norma técnica colombiana NTC-ISO 9000." (2020).

URL: <http://hdl.handle.net/10654/36738>

[11] M.C, Moises, and Ronald Dennis Chambi Mamani. "Influencia del calor de hidratación en concreto a bajas temperaturas, dosificado con cemento comercializados en la ciudad de Juliaca." (2020).

URL: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2825404>

[12] V. M, Yeiber Alexander. "Elaboración de una guía de supervisión técnica para diseños y planos estructurales de edificaciones de concreto reforzado basados en nsr-10. diss." (2021).

URL: <https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/handle/20.500.14167/566>

[13] A, A.Prada Cesar. "Evaluación de los Principales Tipos de Encofrados Utilizados Como Insumos en la Construcción de Edificaciones de Concreto Reforzado en el Municipio de Bucaramanga y su Área Metropolitana." (2022).

URL: <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/f1818052-dbe7-4a3b-bbc2-df76478be096/content>

[14] C.C. Diego, and Roger Moya-Roque. "Serie Madera para construcción La madera certificada bajo el concepto del triple resultado." Revista Forestal Mesoamericana Kurú 6.16 (2009).

URL: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/406>

[15] Vargas Villamizar, Fabio Alexander. "Formaletería para la construcción con sistemas industrializados." (2016).

[16] G, Ponce "Historia del encofrado". (2014).

[17] C, P, Helver, Diego Alejandro Rojas Márquez. "Apoyo en la supervisión técnica de contratos de obras civiles para su evaluación en la etapa precontractual y contractual en la alcaldía de Villavicencio." (2022).

URL: <https://hdl.handle.net/20.500.12494/46962>