



Revista de Arquitectura e Ingeniería
ISSN: 1990-8830
Olga-Toledo@empai.co.cu
Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería
de Matanzas
Cuba

Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Estado del arte

León Consuegra, Liset; Rodríguez García, Carlos

Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Estado del arte

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 16, núm. 3, 2022

Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193972950003>

Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Estado del arte

Factors that influence the compression strength of concrete.
State of the art.

Liset León Consuegra liset.leon@umcc.cu

Universidad Camilo Cienfuegos de Matanzas., Cuba

Carlos Rodríguez García crodriguez@ehv.c-o.cu

Universidad Camilo Cienfuegos de Matanzas., Cuba

Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol.
16, núm. 3, 2022

Empresa de Proyectos de Arquitectura e
Ingeniería de Matanzas, Cuba

Recepción: 21 Agosto 2022
Aprobación: 01 Noviembre 2022

Redalyc: [https://www.redalyc.org/
articulo.oa?id=193972950003](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193972950003)

Resumen: El hormigón es un material heterogéneo, de relativo bajo costo de producción, económico y versátil, el cual presenta disímiles propiedades en estado fresco y endurecido, destacándose propiedades como la resistencia a la compresión la cual está considerada como la propiedad más importante y el valor más representativo del cualquier hormigón la que puede ser afectada por variados factores. Esto ha conllevado a diversos autores referirse al tema con el paso de los años; siendo necesario actualmente contar con una recopilación de la información más importante y actualizada, por lo que en el siguiente artículo se expone el estado del arte relacionado con los factores que influyen en la resistencia a la compresión. Como resultado de la consulta de diversos documentos se puede concluir que existen diversas maneras de agrupar o clasificar los factores, siendo la más general la que los agrupan en características y proporciones de los materiales, condiciones de curado y parámetros de ensayo, siendo los de mayor impacto los relacionados con características y proporciones de los materiales pues son el primer paso para garantizar los valores deseados.

Palabras clave: resistencia a la compresión, características y proporciones de los materiales, condiciones de curado, parámetros de ensayo.

Abstract: Concrete is a heterogeneous material of relatively low production cost, economical and versatile, which has dissimilar properties in fresh and hardened states, highlighting properties such as compressive strength, which is considered the most important property and the most representative value of any concrete which can be affected by various factors. This has led various authors to refer to the subject over the years; it is currently necessary to have a compilation of the most important and updated information, so in the following article the state of the art related to the factors that influence compressive strength is exposed. As a result of consulting various documents, it can be concluded that there are various ways of grouping or classifying the factors, the most general being the one that groups them in characteristics and proportions of the materials, curing conditions and test parameters, being the most impact those related to the characteristics and proportions of the materials, since they are the first step to guarantee the desired values

Keywords: compressive strength, characteristics and proportions of the materials, curing conditions, test parameters.

Introducción

Una herramienta fundamental en la historia de las construcciones las constituye los materiales de la construcción los cuales desde que el hombre se decidió por levantar edificaciones sintió la necesidad de obtener materiales que permitieran unir elementos para poder conformar estructuras estables. Con el desarrollo de la humanidad estos materiales

se han ido perfeccionando, utilizándose actualmente materiales que son capaces de soportar cargas excesivas y de larga durabilidad destacándose, materiales como el hormigón y acero los cuales son considerados imprescindibles en la actualidad debido a las excelentes propiedades que presentan.

El hormigón es un material heterogéneo resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante [1] incluyéndose la incorporación de aditivos o adiciones, las cuales permiten que se desarrollen sus propiedades al hidratarse con el cemento [2]. Para la obtención de la pasta el aglomerante puede ser cualquiera, pero cuando se hace alusión a hormigón o mortero, generalmente es un cemento y entre estos últimos, el más importante y habitual es el cemento Portland, el cual ha convertido al hormigón en el material de elección para la construcción de un gran número y variedad de estructuras [3].

Está considerado como un material de relativo bajo costo de producción, económico y versátil, de ahí que no se visualiza el futuro reemplazando al hormigón por otro materia [4], por lo que si se desea mantener las propiedades en un rango aceptable, se hace necesario establecer un nivel de control de calidad en los materiales que lo componen y en su comportamiento; aunque en ciertas ocasiones se obtienen las características exactas necesarias y existen debilidades en otras [5].

Para su obtención no existe una receta única y la elección del método apropiado depende de los requisitos que deba reunir el material y los resultados que se consigan serán correctos cuando se haya elegido adecuadamente el método y se hayan realizado las correcciones oportunas mediante masas de prueba [6].

Variadas son las propiedades a medir en estado endurecido, entre las que podemos mencionar: resistencias mecánicas, densidad, porosidad efectiva, absorción capilar, resistividad y permeabilidad, etc. todas de suma importancia para la valoración de los hormigones ante criterios de durabilidad por desempeño.

Dentro de la resistencia mecánica se encuentran la resistencia a la compresión [7], [8], [9], [10] la cual es la propiedad principal y más importante del hormigón con respecto a su calidad, sin embargo con respecto a la durabilidad la resistividad eléctrica la más universal y que mejor se relaciona directamente con la calidad [11] a pesar de que no es considerada en la normativa cubana, de ahí que la NC 120:2021 establece valores mínimos de resistencia a la compresión en dependencia del nivel de agresividad.

En el siguiente artículo se expone el estado del arte relacionado con los factores que influyen en la resistencia a la compresión.

Materiales y métodos

La resistencia es una de las propiedades más valorizadas por los proyectistas e ingenieros para determinar la calidad del hormigón. Es

definida como la capacidad de un material de resistir la tensión sin romperse y algunas veces la ruptura es identificada como fisuras.

Dentro de la resistencias mecánicas la resistencia a la compresión es el valor más representativo de cualquier hormigón [12], la propiedad más buscada y en muchas ocasiones es el mayor valor de todas las resistencias [10], [13] [14] llegándose a lograr en ocasiones valores de resistencia características por encima de 40 MPa [15] en los denominados Hormigones de Altas Prestaciones (HAP).

En el orden práctico existe un incremento mayor en las primeras edades, en el orden del 40 % a los tres días de la que tendrá a los 28 días, haciéndose más lenta con el paso del tiempo hasta que se estabiliza, lo que hace que se tome como referencia en varios países, incluyendo a Cuba, la resistencia alcanzada a los 28 días.

Disímiles son los factores que influyen en la calidad final del hormigón dentro de estos se encuentran la dosificación, características de los materiales que lo componen, mineralogía, dimensiones del agregado, tipo de aditivo, adiciones, formas de mezclarlo, transporte, colocación, compactación condiciones de humedad y curado, geometría del cuerpo de prueba; [6], [16], [17], [18] [19] los cuales se pueden agrupar en :

- a) materiales
- b) mano de obra
- c) métodos y maquinaria
- d) medio ambiente

Resultados

Por lo que teniendo en cuenta la postura de los diversos autores y coincidiendo con lo planteado por [6] los factores que afectan la resistencia a la compresión pueden resumirse en:

- a) características y proporciones de los materiales
- b) condiciones de curado
- c) parámetros de ensayo

Discusión de los resultados

a) Características y proporciones de los materiales

En la obtención de un hormigón que cumpla con la resistencia especificada, la adecuada selección de los materiales considerando sus características y correcta determinación de sus cantidades, resulta decisivo en la obtención de las propiedades deseadas. Por otra parte, elementos como el ambiente en que se colocará el material y propiedades a lograr decidirán las proporciones a utilizar de ahí que no puedan verse de manera aislada ni separadas de la realidad.

Seguidamente se hace alusión a los diferentes elementos que influyen en la determinación de la resistencia a compresión del hormigón: áridos, tipo y contenido de cemento, agua de mezclado, relación agua –cemento y aditivos.

Áridos

Las características que presentan cada tipo de árido y su composición afectan definitivamente las características del material, por lo que es deseable como principio que la resistencia del árido sea lo más cercana posible a la del hormigón del cual se hace indispensable conocer al detalle su resistencia y durabilidad pues dependerán de las propiedades físicas y químicas de los agregados [20].

Propiedades o características como granulometría, forma y textura superficial, masa volumétrica y específica, densidad, absorción, humedad superficial, resistencia a la congelación y deshielo, humedecimiento y secado, abrasión, resistencia, contracción y resistencia a ácidos son propiedades de especial interés en los agregados.

Con respecto a la granulometría, forma, textura, tamaño y absorción está considerado que un cambio en la dimensión máxima del árido con una adecuada distribución granulométrica y una determinada composición mineralógica puede tener efectos opuestos en la resistencia, pues los agregados mayores tienden a formar una zona de transición más débil, conteniendo más fisuras. El efecto resultante variará como la relación agua- cemento del hormigón o el tipo de tensión aplicada [10].

Con respecto al tamaño del agregado un aumento de este tamaño para una baja relación agua-cemento puede afectar de forma no considerable la resistencia debido a la porosidad de la zona de transición [6].

Además, una alteración en la distribución granulométrica del agregado sin cambios en la dimensión máxima del agregado con una relación agua-cemento constante puede influenciar en la consistencia, exudación y resistencia.

En hormigones de baja o media resistencia hechos con agregados normal, la porosidad en la zona de transición o interface determina la resistencia manteniendo una relación directa entre relación agua-cemento y resistencia.

En la práctica resultados han demostrado que la forma de los áridos gruesos es más decisiva que la granulometría ya que la relación óptima a utilizar para lograr la resistencia deseada no se basa en granulometría ideal la cual en ocasiones no se logra, sino en métodos experimentales que se basan en la determinación del porcentaje mínimo de vacío de la mezcla de los agregados finos y gruesos, los que varían entre 30-45 por ciento para el agregado grueso y cerca del 40-50 por ciento para el agregado fino [21].

La relación entre el porcentaje de vacío y la superficie específica mínima de la mezcla de los agregados, señalará la composición óptima, la cual requerirá una cantidad mínima de cemento y por ende una mayor resistencia, ya que un aumento de la cantidad de vacíos provoca un aumento de la cantidad de agua de mezclado y cemento [21], por lo que la granulometría, naturaleza de las partículas son las de mayor influencia en la calidad del hormigón así como la proporción árido fino y grueso (A_f/A_g) y la relación agua –cemento (a/c) [22].

Por otra parte está demostrado que existe una relación inversamente proporcional entre la resistencia a la abrasión y la resistencia a la compresión debido a que una baja resistencia puede aumentar la cantidad

de finos durante el mezclado y consecuentemente puede existir un aumento de la demanda de agua requiriéndose adecuados ajuste de la relación agua –cemento [23].

Tipo y contenido de cemento

Las propiedades mineralógicas, composición, finura y la presencia de las adiciones que caracterizan al cemento, así como su cantidad en la dosificación y resistencias mecánicas tienen una influencia apreciable en la resistencia a compresión del hormigón, por lo que la resistencia mecánica de los cementos es uno de los elementos esenciales para su correcto empleo en las diferentes calidades del hormigón y en los usos específicos para las diversas etapas constructivas [24], [25]. Mientras más fino sea el cemento a utilizar, se alcanzarán mayores valores de resistencias pero, se debe tener cuidado pues esto provoca mayor retracción al endurecer, libera mayor calor de hidratación y mayor velocidad de fraguado [26] lo que en ocasiones puede resultar perjudicial para la mezcla.

En cuanto al contenido de cemento deben evitarse cantidades excesivas pues se debe lograr la economía de la mezcla y que no se afecte la trabajabilidad y propiedades del material. Para lograr la economía del cemento no debe sacrificarse la calidad deseada y como la calidad depende principalmente de la relación agua-cemento el contenido de agua debe mantenerse mínimo y así reducir los requisitos del cemento.

Agua de mezclado

Con respecto al agua su manejo ha sido y seguirá siendo un factor trascendental en la confección de mezclas de hormigón, pues es una variable que incide tanto en sus características en estado fresco como en estado endurecido lo que afecta positiva o negativamente el transporte y colocación del material afectando su estabilidad en el tiempo [27].

Para un volumen dado de cemento, la pasta con mayor contenido de agua tendrá mayor volumen total de espacio disponible, pero posteriormente de la hidratación completa, todas las pastas contendrán la misma cantidad de productos sólidos resultantes de tal proceso, por lo que la pasta con el mayor espacio total termina en un correspondiente mayor volumen de huecos capilares [28] los cuales se atan entre sí creando poros, lo que frecuentemente crea unas quebraduras finísimas dentro del hormigón influyendo fuertemente en su actuar.

La porosidad determina las proporciones a las que las especies agresivas pueden entrar en la masa y causar destrucción y no resistan la compresión, por lo que la porosidad y la resistencia a la compresión tienen una relación inversamente proporcional.

Relación agua –cemento (a/c)

En todo tipo de mezcla de hormigón uno de los parámetros de mayor influencia es la relación agua-cemento pues va a tener una influencia directa sobre la calidad del producto obtenido.

A pesar de que la relación agua-cemento es considerada como el factor que más influye en la resistencia a compresión, no pueden establecerse valores fijos por depender de varias condiciones.

Para el caso de Cuba están los valores de relación agua-cemento están en dependencia del nivel de agresividad y la calidad de hormigón a obtener y así está plasmado en la NC 120:2021 como se muestran en la tabla 1.

Parámetro	Tipo de hormigón	Nivel de Agresividad			
		Muy Alta	Alta	Media	Baja
Máxima relación A/C	Simple sin refuerzo	0,5	0,55	0,65	0,65
	Armado	0,4	0,45	0,5	0,55
	Pretensado	0,4	0,4	0,45	0,50
Contenido mínimo de cemento (kg/m ³)	Simple sin refuerzo	200	200	200	200
	Armado	350	325	300	275
	Pretensado	350	325	325	300
fck mínima (MPa)	Simple sin refuerzo	20	15	15	15
	Armado	35	30	25	20
	Pretensado	35	35	30	30
Máxima porosidad efectiva α (%) determinada según la Norma Cubana NC 345	Armado y Pretensado	10	10	15	15
Máxima velocidad de absorción capilar (Sorptividad) S (m/s ^{1/2}) determinada según la NC 967	Armado y Pretensado	5 x 10 ⁻⁵	5 x 10 ⁻⁵	10-abr	10-abr
(*) Incluye el nivel de agresividad nulo Los elementos de hormigón simple con refuerzo serán tratados a los efectos de esta tabla como elementos de hormigón armado					

Tabla 1

Valores límites de relación a/c máxima, contenido mínimo de cemento, mínima resistencia característica a compresión del hormigón fck, porosidad efectiva # máxima y velocidad de absorción de agua S máxima.
Hormigón Hidráulico-Especificaciones, NC 120, La Habana, Cuba, 2021.

Con respecto al valor nominal [6] consideran que para valores de relaciones agua-cemento por debajo de 0,3 aumentos desproporcionales de resistencias pueden ser alcanzados con pequeñas reducciones de la relación agua-cemento, fenómeno atribuido a una mejora significativa de la resistencia en la zona de transición. Además, para relaciones agua –cemento muy bajas los tamaños de los cristales de los productos de hidratación del cemento son menores y el área superficial correspondiente es mayor.

En fin cuanto más baja es la relación agua-cemento más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida y en hormigones normales dentro del rango de resistencias usadas en la construcción y hormigones totalmente compactados el valor de la relación agua-cemento es inversamente proporcional a la resistencia tal como se muestra en la figura 1 definiendo además, junto al grado de hidratación de la pasta, la resistencia del hormigón a cualquier edad [11],[13]; por lo tanto el valor

de relación agua-cemento debe ser lo más bajo posible siempre y cuando se garantice la consistencia deseada.

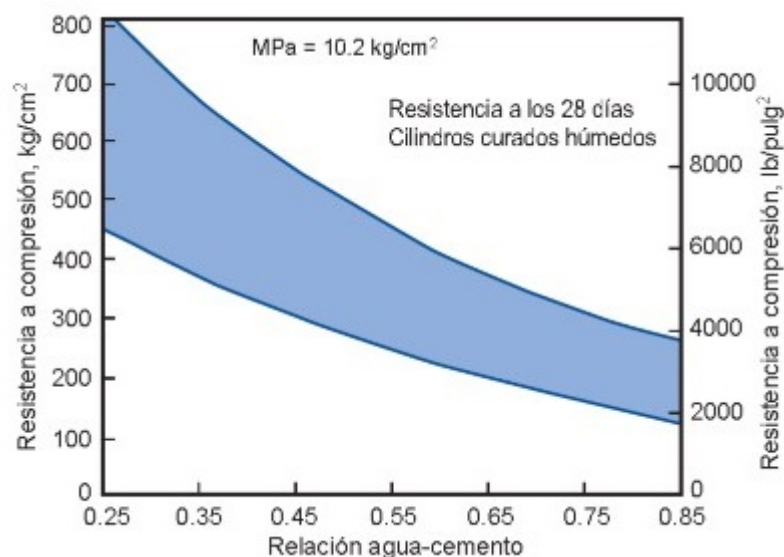


Figura 1

Comportamiento de la resistencia a la compresión en dependencia de la a/c.

S. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. Panarese, and J. Tanesi, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Massachusetts, Estados Unidos: Portland Cement Association, 2004, p. 471.

Aditivos

Los aditivos para ser utilizados no deben ser capaces de afectar propiedades del hormigón como la retracción o expansión [29]. Con respecto a su relación con la resistencia los aditivos reductores de agua pueden elevar tanto la resistencia inicial como final. Ante una determinada relación agua- cemento en presencia de aditivos reductores de agua tiene una influencia positiva en los grados de hidratación del cemento y en la resistencia inicial. Además, son capaces de acelerar o retardar la hidratación del cemento teniendo gran influencia en el logro de la resistencia no afectando las resistencias finales, existiendo una tendencia a una mayor resistencia final cuando la tasa de aumento de resistencia en las primeras edades disminuye.

En el caso de los aditivos superplastificantes para un asentamiento y cantidad de cemento dada, el aditivo se utiliza para encontrar la cantidad de agua + aditivo que producirá el slump deseado; según la dosis y tipo de aditivo utilizado, pudiéndose llegar a la reducción de agua hasta el orden del 40%, con el consiguiente incremento de resistencia, dada la menor relación agua-cemento; esta función es empleada para producir hormigones de alta resistencia [30], [31].

b) Condiciones de curado

El curado es un factor importante para garantizar que las estructuras de hormigón cumplan su rendimiento previsto y requisitos de durabilidad [32]. En caso de no realizarse el curado o realizarse de forma incorrecta la parte superficial del hormigón será la más afectada y la más sensible, y portanto, la que se verá más afectada en cuanto a sus propiedades [33] por lo que un óptimo y adecuado curado durante los primeros días es

importante para el incremento de la resistencia y reducción de las fisuras en el hormigón [34].

Diferentes investigaciones orientadas a estimar la resistencia a la compresión a partir del curado [35], [36] demostraron que los métodos o condiciones de curado (humedad y temperatura) aportaban resultados relevantes de resistencia y eran decisivos en los valores a alcanzar.

De gran importancia práctica representa la influencia de la evolución de la temperatura en el tiempo con respecto a la resistencia del hormigón, pues la temperatura de curado es más importante para la resistencia que la temperatura de colocación [26], demostrándose que en muestras sometidas a curado acelerado la resistencia a compresión puede aumentar aproximadamente en un 68% con respecto a muestras sometidas a curado estándar [4].

Con respecto a la humedad su influencia en la resistencia del hormigón está asociada con la edad. [37] demostró que después de 180 días la resistencia del hormigón continuamente curado por humedad debe ser mayor que la resistencia del hormigón continuamente curado en el aire para tiempos inferiores o iguales a 180 días.

Además, se considera que el incremento de resistencia de hormigones sujetos a procesos de curado húmedo respecto a los que son curados al ambiente natural es baja, de ahí la importancia que se le atribuye a la humedad de las probetas [38].

En la práctica está demostrado que el asentamiento puede variar con respecto a la temperatura por lo que el momento adecuado de comenzar el proceso de fundición es primordial principalmente en países donde las temperaturas son elevadas como es el caso de Cuba, siendo lo más recomendable iniciar estos trabajos en el horario de la noche siempre y cuando las condiciones lo permitan.

Cuando los hormigones son curados a temperaturas aproximadamente a los 23°C se desarrollan una resistencia a los 7 días similar a la resistencia que se alcanza a los 3 días en hormigones curados a temperaturas superiores [39] de ahí la importancia que merece la temperatura en la resistencia.

c) Parámetros de ensayo

La estimación de la resistencia a compresión a través de la evaluación de testigos ensayados en laboratorio depende de numerosas variables, variables que no siempre se aprecia que sus resultados sean afectados significativamente por parámetros que involucren a las probetas y a las condiciones de carga.

Entre los parámetros se encuentran el diámetro de la probeta testigo, la dirección de extracción en relación con la dirección del hormigonado, el estado de humedad de la probeta testigo en el momento de ser ensayada, la esbeltez de la probeta testigo, la armadura embebida en la probeta testigo y la edad del hormigón investigado [40], [6] de ahí la importancia y necesidad de la especialización de los operarios y el estricto cumplimiento del protocolo en la realización de los diferentes ensayos.

Mano de obra y métodos

El factor mano de obra influye en la resistencia, pues generalmente los productores de hormigón cumplen con intensas jornadas de trabajo donde el agotamiento físico debido al sol hace que se vea agotada su productividad lo que en ocasiones conlleva a errores en los procesos.

Por otro lado, está demostrado que además de la duración de la jornada de trabajo se debe tener en cuenta conjuntamente la edad, pues la misma influye negativamente en la productividad lo que puede traducirse en ocasiones en resultados de estudios falseados y la realización de técnicas y/o aplicación de métodos incorrectos de tecnología de hormigonado y en los ensayos realizados [41].

Maquinaria

El trabajo con el hormigón requiere de equipos y herramientas especializadas con el fin de minimizar la variación de la calidad del producto en todas las etapas. En el caso del vertido existen en ocasiones cierta tendencia a que ocurra cierta segregación en la mezcla, fenómeno que debe ser controlado desde el diseño de mezcla y hacer que el hormigón permanezca constante [42]. Por otra parte, especial cuidado merecen los encofrados pues al generarse las presiones laterales si no se controlan adecuadamente se ve incrementado los riesgos al colapso [43] de ahí la importancia de la revisión y control de su estanqueidad y fijación antes del comienzo de las actividades de hormigonado.

Conclusiones

1. Variados son los factores que influyen en la calidad final del hormigón los cuales pueden agruparse en materiales, mano de obra, métodos y maquinarias y medio ambiente.

2. Teniendo en cuenta la variedad de factores existentes y el criterio de autores reconocidos sobre el tema los factores que afectan la resistencia a la compresión pueden resumirse en características y proporciones de los materiales, condiciones de curado y parámetros de ensayo los cuales no deben verse de forma aislada sino como un todo.

3. Haciendo un análisis de la bibliografía consultada todos los factores influyen significativamente en la resistencia a la compresión, destacándose aquellos factores asociados a las características y proporciones de los materiales pues es el primer paso que garantizará el cumplimiento de los valores deseados en las condiciones previstas.

Referencias bibliográficas

- [1] Iatny de la Roz and R. Puig, "Modelo matemático para predecir la resistencia a compresión del hormigón a 28 días" *Revista Cubana de Ingenierías*, vol. XXI (1), pp. 58-66, 2021.
- [2] *Hormigón Hidráulico-Especificaciones*, NC 120, La Habana, Cuba, 2021.
- [3] P. Kumar. "Avances en la tecnología del concreto." Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (accessed 16 de marzo 2021).

- [4] K. Akçaözoglu and A. Killi, "The effect of curing conditions on the mechanical properties of SIFCON " *Journal of Construction*, vol. Vol.20 No.1, 2021.
- [5] L. León, L. Torres, and C. Rodríguez, "Disminución del contenido de cemento a partir de un diseño de mezcla en la Unidad de Servicios Básicos Hormigón," *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 14 No 2, 2020.
- [6] P. Metha and P. Monteiro, "Concreto: Microestructura, propiedades, materiais," in *Concrete. Microestructura do concreto*, I. B. d. concreto Ed., Edición 3 ed. Sao Paulo, Brazil, 2008, ch. Capítulo 2.
- [7] A. Parapinski, "Caracterización de las propiedades del hormigón autocompactante asociadas al esqueleto granular," Tesis de doctorado, Departamento de Ingeniería de la Construcción, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 2012.
- [8] E. González, "Nuevo método de dosificación sostenible para hormigones con áridos reciclados " Tesis de especialidad, Departamento de Ingeniería de la Construcción, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 2012.
- [9] C. Fernández, "Diseño de hormigones con porosidad controlada " Tesis de Máster, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 2013.
- [10] F. Olmedo, "Caracterización mecánica experimental de un hormigón ligero estructural," Tesis de doctorado, Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2018.
- [11] J. Martínez, N. Díaz, and A. d. Castillo, "La resistividad eléctrica como herramienta del control de la calidad en el hormigón," *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 12, No 3, p. 12, 2018.
- [12] A. Fernández and J. Howland, "Factores de corrección a la resistencia a compresión de testigos de hormigón. Estado del arte y propuesta para actualización de la normativa cubana.," *Revista Cubana de Ingenierías*, vol. X, pp. 47-58, 2019, Art no. 2.
- [13] P. Metha and P. Monteiro, "Concreto: Microestructura, propiedades, materiais," in *Concrete. Microestructura do concreto*, I. B. d. concreto Ed., Edición 3 ed. Sao Paulo, Brazil, 2008, ch. Capítulo 2.
- [14] Y. Raghavendra, Y. Ramalinga, and H. Nabil, "Properties of high strength concrete with reduced amount of Portland cement– a case study," *Cogent Engineering*, vol. Volumen 8, no. Issue 1, 2021.
- [15] H. Cifuentes, J. Ríos, and A. Martínez, "Estudio del comportamiento de hormigones de muy alta resistencia sometidos a cargas de choque térmico," *Hormigón y acero, Avance online*, p. 11, 2020, doi: <https://doi.org/10.33586/hya.2020.2284>
- [16] M. Orozco, Y. Avila, S. Respreto, and A. Parody, "Factors influencing concrete quality: a survey to the principal actors of the concrete industry " *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 33 N°2 pp. 161-172, 2018.
- [17] M. Payá, "Evolución de la resistencia del hormigón con la edad y la temperatura," Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2011.
- [18] A. Neville and J. Brooks, *Concrete Technology*, Segunda Edición ed. London: British Library, 2010.

- [19] Iatny de la Roz, R. Puig, and F. Martínez, "Procedimiento para pronosticar la resistencia del hormigón a los 28 días desde edades tempranas," *Ciencia y Construcción*, vol. 1No2, pp. 20-31, 2020.
- [20] J. Cham, R. Solis, and E. Moreno, "Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto," *Ingeniería*, pp. 39-46, 2003.
- [21] S. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. Panarese, and J. Tanesi, *Diseño y Control de Mezclas de concreto*. Massachusetts, Estados Unidos: Portland Cement Association, 2004, p. 471.
- [22] V. O'Reilly, *Métodos para Dosificar Concretos de Elevado Desempeño*. Distrito Federal, México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2007.
- [23] J. Santamaría, B. Adame, and C. Bermeo, "Influencia de la calidad de los agregados y tipo de cemento en la resistencia a la compresión del hormigón dosificado al volumen " *Novasinerгия*, vol. 4 No 1, pp. 91-101, 2021.
- [24] M. Gener and J. Alvarez, "Influencia de la relación agua/cemento en la elaboración del mortero normalizado de los cementos con puzolana " *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*, vol. Vol. 52, N°26, 2002.
- [25] A. Bourchy, L. Barnes, L. Bessette, F. Chalencon, A. Joron, and J. Torrenti, "Optimization of concrete mix design to account for strength and hydration heat in massive concrete structures," *Cement and Concrete Composites*, vol. 103, pp. 233-241, 2019.
- [26] I. de la Roz, "Modelo matemático para predecir la resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días a partir de ensayos en probetas a edades tempranas," Tesis de Maestría, Departamento de Construcciones, Universidad Tecnológica de la Habana "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA", La Habana, Cuba, 2019.
- [27] C. Bedoya, "Incidentes of the water content in the workability, compressive strength and durability of the concrete," *Revista de Ingeniería y Arquitectura*, vol. Vol.11 No.1 2017.
- [28] G. Guevara, C. Hidalgo, M. Pizarro, I. Rodríguez, L. Rojas, and G. Segura, "Efecto de la variación agua/cemento en el concreto," *Tecnología en Marcha*, vol. Vol.25, N°2, pp. Pág.80-86, 2012.
- [29] *Aditivos para hormigones, morteros y pastas – Requisitos*, NC 228-1, La Habana, Cuba, 2005.
- [30] I. Bin, "Dosage Limit Determination of Superplasticizing Admixture and Effect Evaluation on Properties of Concrete " *Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. Volume 4, no. Issue3, 2013.
- [31] H. Coapaza and R. Cahui, "Influencia del aditivo superplastificante en las propiedades del concreto $f_c=210$ kg/cm² como alternativa de mejora en los vaciados de techos de vivienda autoconstruidos en puno," Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú, 2018.
- [32] L. Rodríguez, "Evaluación de la tecnología de curado interno mejorado en concretos expuestos al ataque de sulfatos y/o cloruros " Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León Nuevo León, España, 2019.
- [33] R. Solis and E. Moreno, "Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo," *Ingeniería*, vol. Volumen 9 No 3, pp. Pag. 5-17, 2005.
- [34] J. Howland, E. U. F. Varela, Ed. *Tecnología del Hormigón para Ingenieros y Arquitectos*. La Habana, Cuba, 2012, p. 373.

- [35] Z. Abdullah, "Effect of curing methods in hot weather on the properties of high-strength concretes," *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, vol. 31, pp. 218-233, 2019.
- [36] W. Stalin, Y. Micles, C. Pavón, E. Solórzano, and L. Palacios, "Influence of on-site curing on the compressive strength of concrete," *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, vol. Volumen Especial 2020, No 2, pp. 20-25, 2020.
- [37] M. Zhengxiang, H. Mi, L. Qingbin, and A. Zaizhan, "Effect of curing humidity on the fracture properties of concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 169, pp. 403-413, 2018.
- [38] R. Solís-Carcaño, E. Moreno, and C. Serrano-Zebadua, "Influencia del tiempo de curado húmedo en la resistencia y durabilidad del concreto en clima tropical," *CONCRETO Y CEMENTO. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO*, vol. 4, No 2, pp. 15-25, 2013.
- [39] M. Orozco, Y. Avila, S. Restrepo, and A. Parod, "Factors influencing concrete quality: a survey to the principal actors of the concrete industry " *Revista Ingeniería de Construcción* vol. 33, pp. 161-172, 2018.
- [40] L. Rojas, J. Fernández, and J. López, "Influencia de algunas variables en el ensayo a compresión de probetas testigo en un hormigón autocompactante " presented at the 2do Congreso Ibérico sobre Hormigón Autocompactante, Guimarães, 2-10 de julio, 2010.
- [41] L. Xiaodong, H. Kwan, Z. Yimin, and L. Ying, "Evaluating the impacts of high-temperature outdoor working environments on construction labor productivity in China: A case study of rebar workers," *Building and Environment*, vol. 95, pp. 42-52, 2016.
- [42] I. Navarrete and M. López, " Estimating the segregation of concrete based on mixture design and vibratory energy," *Construction and Building Materials*, vol. 122, pp. 384-390, 2016.
- [43] Z. Wenxue and H. Chun, "An experimental study on the lateral pressure of fresh concrete formwork," *Construction and Building Materials*, vol. 111, pp. 450-460, 2016.