

Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón

Factors influencing concrete quality: a survey to the principal actors of the concrete industry

M. Orozco^{1*}, Y. Avila*, S. Restrepo*, A. Parody**

*Universidad de la Costa (CUC), Barranquilla, COLOMBIA

**Universidad Libre, Barranquilla, COLOMBIA

Fecha de Recepción: 12/11/2017

Fecha de Aceptación: 13/03/2018

PAG 161-172

Abstract

Concrete is the most used building material worldwide, involving thousands of field, academic and laboratory professionals in its production, transportation and its application, which creates a great margin of possible error that may yield in a poor quality concrete. Each professional takes care of the concrete quality according to his/her experience or academic knowledge/expertise. In order to analyze the factors that concrete workers in Barranquilla (Colombia) perceive as the most important for achieving a high-quality concrete, a survey was made to both academic and field experts with different years of experience and analytic hierarchy process (AHP) was applied to weigh the perception of each factor in the concrete quality. Results have shown that for the survey respondents one of the most important factors is the environment; this may be associated with geographic location of the city, which is in a coastal region.

Keywords: Concrete quality, concrete, analytic hierarchy process, quality control

Resumen

El concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo, involucrando en su uso a miles de profesionales de campo, académicos y de laboratorio en su producción, transporte o aplicación, lo cual genera un gran margen de error que puede tener como consecuencia un concreto de baja calidad. Cada profesional controla la calidad del concreto de acuerdo con su experiencia o su conocimiento académico. Con el fin de analizar los factores que los actores relevantes del concreto perciben como los más importantes para obtener una alta calidad del mismo, se realizó una encuesta en Barranquilla (Colombia) a académicos y expertos de campo con diferentes años de experiencia y se aplicó el método de análisis jerárquico para determinar la ponderación de cada factor en la calidad del concreto. Los resultados muestran que el factor más importante para los encuestados es en el entorno ambiental; la metodología utilizada y los resultados obtenidos pueden ser extrapolables a otras realidades.

Palabras clave: Calidad del concreto, concreto, análisis jerárquico, control de calidad en obra

1. Introducción

Actualmente el concreto es el material de construcción más utilizado por el ser humano, estudios realizados por Mobasher (2008) determinaron que la producción de hormigón se ha duplicado desde la década de 1990, pasando de 170 millones de m³/año a más de 330 millones de m³ en 2004, estos valores incluyen tanto concreto vibrado como concreto auto compactante. Para su fabricación se usan materias primas tales como arena y rocas que constituyen un aproximado del 65% al 75% del volumen total del concreto, así como agua, material cementante y aditivos varios que representan el volumen restante, esto se traduce entonces a nivel global en una demanda de varios millones de toneladas de materias primas que son procesadas anualmente (Sabão et al., 2015; Becker, 2013).

Sin embargo, a pesar de la evidente importancia de este material, los procedimientos de elaboración, colocación o curado en algunos casos no son los adecuados, afectando de manera directa el comportamiento y calidad del concreto.

Los factores que afectan dicha calidad se pueden dividir en Materiales, Mano de Obra, Métodos, Maquinaria y Medio ambiente.

En lo que respecta al primer factor, la investigación de Chan Yam y Col. (Chan Yam et al., 2003), menciona que es necesario conocer y controlar características de los agregados como el tamaño, porcentaje de absorción y coeficiente de forma, ya que estos determinan la trabajabilidad en el concreto fresco, de igual manera, conocer atributos como la textura, adherencia y composición mineral, que influyen de manera significativa la zona de transición, permiten determinar si la resistencia mecánica del concreto se verá afectada. En cuanto al agua de mezclado, Rodríguez et al, (2012), expusieron que, de no contarse con agua potable en la obra, puede usarse agua con cargas químicas considerables, siempre y cuando la reducción en la resistencia a la compresión del concreto sea máxima del 10%, comparado con un concreto hecho del mismo material pero mezclado con agua potable.

Seguidamente, en el factor mano de obra, que generalmente cumple intensas jornadas de trabajo en la construcción, una investigación realizada en Estados Unidos por Gillen & Gitleman (2013), concluyó que el agotamiento físico en los trabajadores se agudiza, por el hecho de que

¹ Autor de correspondencia:

Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, COLOMBIA
E-mail: mauricio.orozco@unimilitar.edu.co



muchas veces se labora directamente bajo el sol, volviéndolos vulnerables a las altas temperaturas y poniendo en riesgo la salud del obrero, a la vez que se disminuye su productividad en la obra. Li et al. (2016) realizaron un análisis del impacto de la hora del día (por el efecto de la temperatura) en la productividad de los trabajadores en obras de concreto reforzado, a través de modelos de regresión y concluyeron que efectivamente la temperatura tiene un efecto negativo en el tiempo directo de trabajo y un efecto positivo en el tiempo ocioso, además, por cada un grado Celsius de incremento en la temperatura, el tiempo directo de trabajo disminuye en un 0.57% y el ocioso aumenta en un 0.74%. Adicionalmente, la edad influye negativamente en la productividad mientras que la experiencia y el índice de masa corporal del obrero influyen positivamente. De acuerdo con lo anterior, brindar condiciones de trabajo adecuadas puede garantizar una mejor productividad y en consecuencia se puede ver reflejada en la buena calidad de la obra.

Con respecto a la maquinaria, el trabajo de Walker (Walker, 1976) indica que en la colocación del concreto premezclado se requieren equipos y herramientas especializadas con el fin de minimizar la variación de la calidad del producto en la etapa de vaciado, respecto a este tema, Navarrete y López (2016) modelaron la separación del agregado y el mortero mediante una evaluación de estabilidad del hormigón, encontrando que la tendencia del concreto a permanecer uniforme se puede controlar principalmente por el diseño de mezcla; por otro lado Banfill et al. (2011) analizaron como varía el comportamiento de la mezcla de concreto en términos de fluidez con la velocidad de vibración, concluyendo que el radio de acción aumenta con la disminución de la tensión de fluencia y con el aumento de la viscosidad plástica, finalmente Safawi et al. (2005) estudiaron la aplicación de vibraciones en concreto con introducción de super-plastificantes, demostrando que la tendencia a la segregación disminuye en este tipo de mezclas por la presencia del agente potenciador.

Otro aspecto importante relacionado con la maquinaria y herramientas son las formaletas, usuales para la colocación del concreto, Zhang et al. (2016) investigaron acerca de los principales factores que actúan sobre las presiones laterales de estas, encontrando que la velocidad de colado, el modo de vibración y el asentamiento del concreto pueden influir en la presión, tales aspectos de no controlarse incrementarían los riesgos de colapsos.

Finalmente, para el factor medio ambiente, la temperatura al momento de fundir juega un papel muy importante. Partiendo de una temperatura de 23°C, la investigación realizada por Burg (Burg, 1996), demostró que el asentamiento del concreto decrece o aumenta en 20 mm por cada 10°C de incremento o disminución en la temperatura respectivamente. Además de esto, el tiempo de asentamiento varía en un 50% por cada 10°C de cambio en la temperatura. En cuanto al desarrollo de la resistencia de diseño, los concretos curados a una temperatura de 23°C desarrollan una resistencia a los 7 días similar a la resistencia desarrollada por concretos curados durante 3 días a una temperatura de 32°C.

Con base a lo anterior se realizó una recopilación de casos a nivel mundial, donde la calidad del concreto se viera afectada por la falta de control de los factores mencionados previamente. Ahmed y Ahmed (1996) estudiaron los aspectos que deterioraron rápidamente el almacén Char Alexander ubicado en Bangladesh, determinando que la arena no

cumplía con los límites de clasificación y los agregados eran trozos de ladrillo de baja calidad con alto contenido de sal y cloro, a su vez la porosidad era alta y el concreto utilizado poseía una baja resistencia, de igual forma se evidenció la falta de equipos y mano de obra calificada junto con un control de calidad en obra deficiente. De igual forma, Koehn y Ahmed (2001) determinaron que la falla de la cubierta de dos puentes expuestos a inundación en época de lluvia fue causada por la utilización de un concreto de baja resistencia. Por otro lado, en Colombia, en el año 2013 se presentó el colapso de la torre 6 del edificio Space, que dejó 12 personas muertas, esto fue producto de una serie de factores detonantes, como la falta de capacidad estructural de las columnas, deficiencia en el dimensionamiento de los elementos de acuerdo a las propiedades de los materiales, e incumplimiento en las resistencias mínimas especificadas para el concreto (Universidad De Los Andes, Facultad de Ingeniería, 2014).

Por último, en el caso de la ciudad de Barranquilla, donde se realiza el presente estudio, la empresa Incosuelos dedicada a pruebas de laboratorio de materiales, reportó que de 331 cilindros de concreto que fueron fallados entre el mes de enero y agosto del 2013 y que fueron fabricados en obras, el 43.8% de los cilindros alcanzaron una resistencia promedio del 73 % de la resistencia de diseño esperada. Entre las causas reportadas de esta situación son el contenido de arcilla o material vegetal, segregación y mezclado insuficiente (Incosuelos LTDA, 2016).

En esta investigación se presenta una evaluación de la percepción de los diferentes agentes del sector de la construcción respecto a los diferentes factores que han sido reportados en la literatura como influyentes en la calidad del concreto.

2. Metodología

Fue necesario adoptar un enfoque de encuesta por cuestionario con el objetivo de identificar por medio del sistema de análisis estructurado los factores con mayor o menor influencia en la calidad del concreto según la percepción de expertos en el tema. A continuación, se presentan las diferentes etapas empleadas.

2.1 Primera Etapa: Elaboración y validación de La Encuesta

La estructura de la encuesta se basó en el sistema de análisis estructurado de mejora continua, conocido como 5M, es decir usando los cinco factores discutidos en la sección anterior: Mano de obra, Maquinaria, Materiales, Métodos y Medio ambiente; la validación de la encuesta fue realizada por cuatro académicos con experiencia en áreas relacionadas, quienes evaluaron la estructura de cada una de las preguntas y finalmente las aprobaron para ser aplicadas en forma de cuestionario a través de una plataforma virtual.

2.2 Segunda Etapa: Aplicación de la encuesta

La encuesta fue aplicada a través de una plataforma virtual a un público específico entre ingenieros, arquitectos y técnicos relacionados con el área de la construcción, con diferentes años de experiencia y formación académica. Estos seleccionaban el grado de influencia en la calidad del concreto de cada una de las preguntas de la encuesta, siendo 1 el menor y 5 el mayor grado de influencia. Siguiendo esta metodología se obtuvieron 100 encuestas.

2.3 Tercera Etapa: Análisis Estadístico

Se utilizó el método de análisis jerárquico (Saaty, 1990) para analizar la percepción de los encuestados y determinar la ponderación de cada uno de los factores (mano de obra, materiales, métodos constructivos, medio ambiente, equipos y herramientas). Considerando que la experiencia práctica y la formación académica son factores razonablemente influyentes a la hora de tomar una decisión profesional, se realizaron tres análisis diferentes; un primer análisis considerando el total de las encuestas llamado análisis global, el segundo análisis usando la experiencia profesional y finalmente el grado de formación académica como criterios discriminativos. De la misma forma, este procedimiento se aplicó a los sub-factores dentro de cada factor, con el fin de identificar cuál de estos presenta la mayor relevancia para los encuestados.

Para verificar la importancia de la experiencia o el grado de formación académica en opinión de los encuestados se realizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis en los sub-factores más importantes de cada factor. En esta prueba se evaluó el p -valor bajo la hipótesis nula de que

las medianas de cada nivel de experiencia profesional o nivel académico eran iguales por sub-factor, de esta forma si el p -valor es igual o superior a 0,05 no existe una diferencia estadísticamente significativa de que las medianas de los sub-factores se ven afectados por los niveles de experiencia o formación académica, por otro lado si el p -valor es inferior a 0,05 se tiene suficiente evidencia estadística de que existen diferencias significativas entre las medianas, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

Para facilitar el análisis de la simetría, máximos, mínimos, medias y las muescas de la mediana se realizaron gráficas de caja y bigotes a aquellos sub-factores que presentaron diferencias significativas.

3. Resultados y análisis de resultados

3.1 Análisis Global

La ponderación de cada factor aplicando el método jerárquico (ver Figura 1 (M.O: Mano de Obra, MAQ: Maquinaria, MAT: Materiales, MET: Métodos, M.A: Medio Ambiente.))

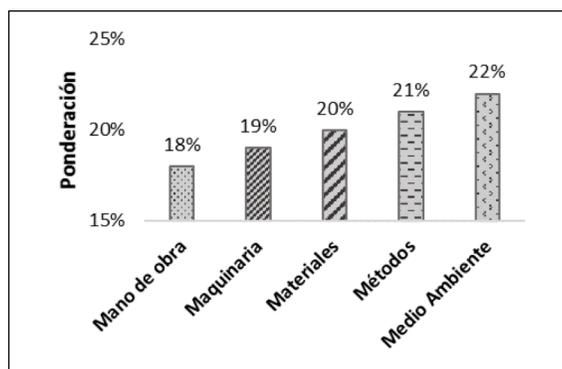


Figura 1. Ponderación de los factores para el análisis global

Según la percepción de los encuestados, el factor con mayor influencia en la afectación de la calidad del concreto es el medio ambiente con un 22%, esto puede ser producto de la localización de Barranquilla. En la ciudad se presentan temperaturas promedio de 28.5°C, con valores máximos que oscilan entre 31°C a 35°C y valores mínimos entre 23°C a 24°C, con una humedad relativa promedio de 79% a 81% y una velocidad de viento promedio de 3.9 m/seg (CIOH, 2016), condiciones ambientales que son desfavorables para la durabilidad de las estructuras y la calidad del concreto, (Osorio, 2011). Bajo esta condición, la demanda de agua para el curado es mayor que en un clima frío, modificando el comportamiento de este, tanto en estado fresco como endurecido (Espinoza, 2015), lo cual puede generar un incremento de la contracción plástica durante el fraguado debido a la rápida evaporación del agua formando grietas (Maury et al., 2007), y permitiendo la penetración de sales y sulfatos presentes en la humedad del aire, cuyas concentraciones en Barranquilla son altas, de esta manera las estructuras aunque no están en contacto directo con el mar son afectadas por la degradación química del concreto y corrosión del acero de refuerzo (Vargas, 1998).

Seguido del factor medio ambiente, se encuentra con un 21.2% los métodos constructivos como el segundo factor que más afecta la calidad del concreto, esto refleja una preocupación originada por la falta de una supervisión que garantice procedimientos constructivos aceptables, verificando el cumplimiento de las especificaciones técnicas y de calidad tanto de los materiales, la mano de obra y la tenencia de equipos en óptimas condiciones, como de la obra misma, en sus aspectos generales de construcción, estructuras, instalaciones, acabados, detalles, etc. (Carcaño, 2004), ya que todos estos factores van de la mano y son el resultado de los buenos y malos métodos de construcción en obra (Palomino Sepulveda, 2014).

La calidad de los materiales representa el 20% de influencia en la calidad, ya que siendo concreto premezclado debería cumplir con la dosificación de cada uno de los materiales y los estándares de calidad por parte de las plantas productoras de concreto, aun así, se presentan casos de estructuras donde el concreto no alcanzó la resistencia a la compresión óptima de diseño, claros ejemplos son el edificio Altinbasak en Turquía (Kaltakci, Korkmaz, Kamanli, Ozturk, & Arslan, 2013) y la torre 6 del edificio Space en Colombia; estos resultados pueden ser la consecuencia de una serie

factores externos que inician desde el proceso de fabricación en la concretera debido a materiales que no cumplieron con las Normas Técnicas Colombianas (NTC) o internacionales, un sistema de transporte ineficiente, una colocación inapropiada del concreto debido a un mal mezclado o exceso de vibración en la compactación permitiendo la segregación de la mezcla y por ultimo un curado inadecuado que puede alterar la relación agua/cemento reduciendo su resistencia.

Los equipos y herramientas utilizados en la colocación del concreto, influyen en un 19% en la calidad de este, según la percepción de los encuestados el mal estado de estos, por falta de mantenimiento o sobreutilización de los mismos, puede influenciar de forma negativa en el acabado final del concreto, reduciendo su resistencia con el tiempo, por tal motivo es importante la tenencia y el buen estado de herramientas como: el equipo de bombeo, vibrador, formaletas y herramientas de iluminación que optimicen la colocación de este. La ponderación de este factor confirma lo expuesto por otros autores como Navarrete y López (2016) los cuales en conjunto exponen la importancia que representa

equipos y herramientas en la colocación del concreto premezclado.

En último lugar se encuentra la mano de obra con un 18% de influencia en la calidad del concreto, considerado el factor menos influyente, esto puede obedecerse a que los trabajadores rasos están dirigidos y supervisados por personal capacitado, responsable de todas las actividades ejecutadas por ellos.

3.2 Análisis por grado de formación académica

En esta sección se determinó cómo influye el nivel académico en la percepción de estos factores, por lo que se realizó el mismo procedimiento con el método jerárquico, pero esta vez se consolida la respuesta de las personas con formación técnico, profesional y especialista en un primer análisis (ver Tabla 2), en un segundo análisis se agrupa la percepción de las personas con formación de Maestría y doctorado (ver Tabla 3). A partir de la matriz de comparaciones pareadas se calculan las ponderaciones de cada factor (ver Figuras 2 y 3).

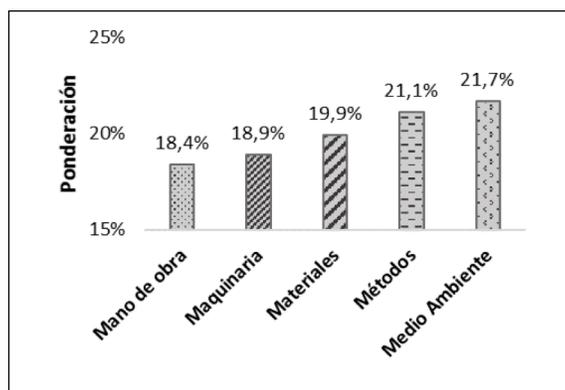


Figura 2. Ponderación de los factores, formación académica baja-media

Según la percepción de los encuestados con formación académica bajo-medio, el factor con mayor influencia en la calidad del concreto es el medio ambiente

con un 21.7% y con menor influencia la mano de obra con un 18.4%

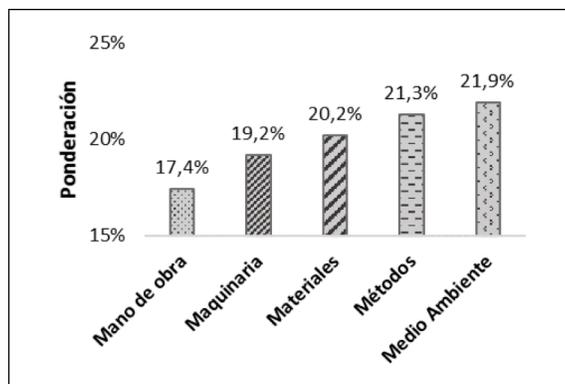


Figura 3. Ponderación de los factores, formación académica alta

De igual forma, la percepción de los encuestados con mayor formación académica, el factor que más influencia tiene en la calidad del concreto es el medio ambiente con un 21.9% y el factor que menos influye es la mano de obra con un 17.4%.

De acuerdo a esto se puede inferir que el grado de formación académica, no influye de manera significativa en la percepción de los factores en la calidad del concreto.

3.3 Análisis por experiencia profesional

En este apartado se estudia como varía la percepción de los encuestados con la experiencia profesional. Las tablas 4 y 5 presentan la matriz de comparaciones pareadas considerando menos de 5 años de experiencia y más de 5 años de experiencia profesional respectivamente. A partir de las tablas 4 y 5 se calculan las ponderaciones de cada factor (ver Figuras 4 y 5).

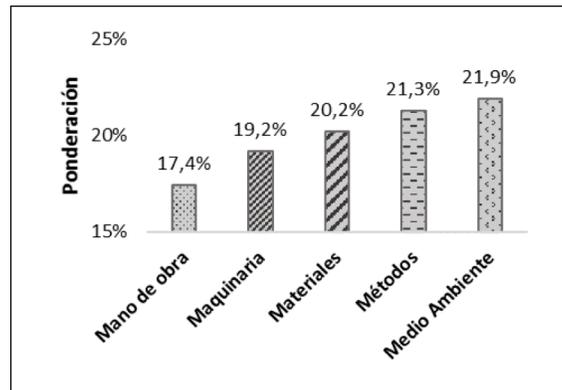


Figura 4. Ponderación de los factores, baja experiencia

Para los encuestados con menor experiencia profesional (Figura 4), el factor que más influye en la calidad

del concreto es el medio ambiente con un 22.6% y el que menos influye es la mano de obra con un 17.8%

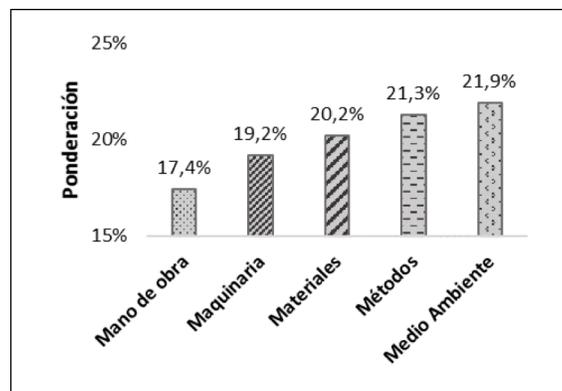


Figura 5. Ponderación de los factores, alta experiencia

Según los encuestados con más años de experiencia, el factor con mayor influencia en la calidad del concreto es el medio Ambiente con un 21.7% y el factor con menor influencia es la mano de obra con un 18.1%. Comparando los resultados de las figuras 4 y 5 con los resultados del análisis global, se puede inferir que la experiencia profesional no incide de manera significativa en la percepción de los factores que afectan la calidad del concreto.

Una vez determinado los factores que tienen mayor percepción de importancia por parte de los encuestados, es

interesante mirar que variables que identifican a los encuestados tuvieron relación con las respuestas dadas y por ende en las ponderaciones obtenidas. Para realizarlo se aplicó una ANOVA multifactorial donde las variables independientes eran: Profesión, Nivel Académico y Años de Experiencia, y la variable dependiente fue la puntuación promedio obtenida entre todos los factores, pero antes se generó una tabla resumen de las estadísticas descriptivas según cada variable independiente:



Tabla 1. Resumen estadístico para puntuación promedio

| Resumen Estadístico para Puntuación Promedio | | | | |
|--|---------------------------------|----------|---------------------|---------------------------|
| Factores | | Promedio | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación |
| Profesión | Ingeniero Mecánico | 3,40 | | |
| | Arquitecto | 3,89 | 0,34 | 8,67% |
| | Ingeniero Industrial | 3,80 | 0,00 | |
| | Ingeniero ambiental y sanitaria | 3,80 | | |
| | Ingeniero civil | 3,81 | 0,50 | 13,10% |
| | Inspector De Obras Civil | 4,05 | 0,07 | 2% |
| | Tecnólogo en Construcción | 4,18 | 0,30 | 7,26% |
| | ingeniero sanitario | 4,30 | | |
| | Tecnólogo en obra civil | 4,40 | | |
| Nivel académico | Maestría | 3,84 | 0,53 | 13,91% |
| | Doctorado | 3,50 | 0,30 | 8,62% |
| | Especialización | 3,81 | 0,44 | 11,49% |
| | Pregrado | 3,99 | 0,37 | 9,15% |
| | Técnico | 4,18 | 0,26 | 6,11% |
| Años de experiencia | <2 | 3,70 | 0,60 | 16,10% |
| | 2y5 | 3,89 | 0,45 | 11,55% |
| | 5y10 | 3,84 | 0,48 | 12,59% |
| | >10 | 3,86 | 0,44 | 11,45% |

La Tabla 2 muestra el resultado muestra el resultado de ANOVA multifactorial:

Tabla 2. Puntación promedio para el ANOVA multifactorial

| ANOVA Multifactorial | |
|----------------------|---------------|
| Factores | Valor-P |
| Años de Experiencia | 0,673 |
| Profesión | 0,478 |
| Nivel Académico | 0,0162 |

El ANOVA arrojó que la variable Nivel Académico fue la única que tiene relación con las puntuaciones obtenidas en las encuestas teniendo en cuenta los 5 factores,

dado que el valor p obtenido fue menor de 0,05 con una confianza del 95%.

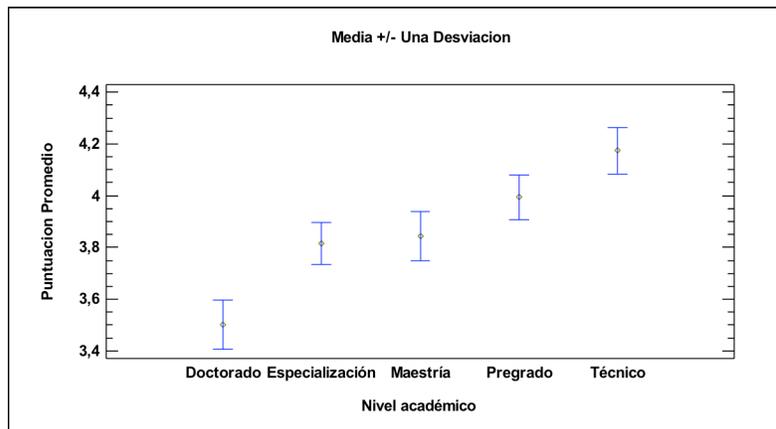


Figura 6. Gráfico de medias más y menos una duración estándar

Se generó un gráfico de medias más y menos una desviación estándar (figura 6) para determinar la influencia del Nivel Académico en las puntuaciones, obteniéndose que las puntuaciones más altas se dieron en la formación Técnica y la más baja fue a nivel de Doctorado.

De igual forma se repitió el análisis, pero centrado en el Factor 5, asociado a Medio Ambiente, ya que este factor fue el que presentó la mayor ponderación, inicialmente se muestra la tabla de estadísticas descriptivas de las variables asociadas a la respuesta de las preguntas que conforman el Factor 5:

Tabla 3. Resumen estadístico para el factor 5: Medio ambiente

| Resumen Estadístico para Puntuación Promedio | | | | |
|--|---------------------------------|----------|---------------------|---------------------------|
| Factores | | Promedio | Desviación Estándar | Coefficiente de Variación |
| Profesión | Ingeniero Mecánico | 3,40 | | |
| | Arquitecto | 3,89 | 0,34 | 8,67% |
| | Ingeniero Industrial | 3,80 | 0,00 | |
| | Ingeniero ambiental y sanitaria | 3,80 | | |
| | Ingeniero civil | 3,81 | 0,50 | 13,10% |
| | Inspector De Obras Civil | 4,05 | 0,07 | 2% |
| | Tecnólogo en Construcción | 4,18 | 0,30 | 7,26% |
| | ingeniero sanitario | 4,30 | | |
| | Tecnólogo en obra civil | 4,40 | | |
| Nivel académico | Maestría | 3,84 | 0,53 | 13,91% |
| | Doctorado | 3,50 | 0,30 | 8,62% |
| | Especialización | 3,81 | 0,44 | 11,49% |
| | Pregrado | 3,99 | 0,37 | 9,15% |
| | Técnico | 4,18 | 0,26 | 6,11% |
| Años de experiencia | <2 | 3,70 | 0,60 | 16,10% |
| | 2y5 | 3,89 | 0,45 | 11,55% |
| | 5y10 | 3,84 | 0,48 | 12,59% |
| | >10 | 3,86 | 0,44 | 11,45% |



La Tabla 4 muestra los resultados del ANOVA multifactorial:

Tabla 4. ANOVA multifactorial para el medio ambiente

| ANOVA Multifactorial | |
|-----------------------------|----------------|
| Factores | Valor-P |
| Años de Experiencia | 0,673 |
| Profesión | 0,478 |
| Nivel Académico | 0,0162 |

El ANOVA arrojó que ninguna variable mostró relación significativa con las puntuaciones obtenidas en las respuestas de las preguntas asociadas al Factor 5, dado que todos los p valores fueron mayores de 0,05.

De manera simultánea, este estudio se aplicó a los sub-factores, para determinar cuál de estos, posee una mayor influencia en la calidad del concreto según la percepción de los encuestados. En las tablas 5 a 9 se presenta el ranking de los sub-factores.

Tabla 5. Ranking de los sub-factores de la mano de obra

| Mano de Obra | | |
|---------------------|---|----------|
| Ranking | Como influye: | % |
| 1 | La experiencia específica | 21.60 |
| 2 | Las Capacitaciones recibidas | 21,60 |
| 3 | La hora en el desempeño del trabajador al momento de fundir | 17,98 |
| 4 | El Ruido | 14,65 |
| 5 | La Edad del trabajador | 12,56 |
| 6 | Los Ingresos | 11,59 |

Tabla 6. Ranking de los sub-factores de la maquinaria

| Maquinaria | | |
|-------------------|--|----------|
| Ranking | Como influye: | % |
| 1 | Iluminación de la zona de trabajo | 14.56 |
| 2 | Disponibilidad de vibrador | 14.39 |
| 3 | Disponibilidad de equipos para concreto bombeado | 13.99 |
| 4 | Tipo de formaleta | 13.31 |
| 5 | Antigüedad del equipo | 11.75 |
| 6 | Disponibilidad de equipos para ensayos propios | 11.10 |
| 7 | Fuente de energía de los equipos | 10.85 |
| 8 | Tenencia de la formaleta | 10.05 |

Tabla 7. Ranking de los sub-factores de los materiales

| Materiales | | |
|-------------------|----------------------------|----------|
| Ranking | Como influye: | % |
| 1 | Diseño de la mezcla | 20.82 |
| 2 | Tipo de curado | 18.93 |
| 3 | Fuente del material | 18.84 |
| 4 | Prestigio de la concretera | 15.24 |
| 5 | Distancia planta-obra | 13.88 |
| 6 | Costos de Materiales | 12.30 |

Tabla 8. Ranking de los sub-factores de los métodos de construcción

| Métodos | | |
|----------------|-----------------------------------|----------|
| Ranking | Como influye: | % |
| 1 | Supervisión técnica | 22.17 |
| 2 | Ensayos de calidad | 21.33 |
| 3 | Organización del sitio de trabajo | 20.54 |
| 4 | Sistema de gestión de calidad | 18.80 |
| 5 | Sitio de toma de muestra | 17.16 |

Tabla 9. Ranking de los sub-factores del medio ambiente

| Medio Ambiente | | |
|-----------------------|----------------------------------|----------|
| Ranking | Como influye: | % |
| 1 | Temperatura al momento de fundir | 34.29 |
| 2 | Viento y humedad | 32.86 |
| 3 | Agresividad ambiental | 32.86 |

De acuerdo al ranking, los sub-factores más importantes de cada factor son los siguientes; en primer lugar se encuentra la temperatura al momento de fundir con un 34.3%, continua la supervisión técnica con un 22.2%, le sigue la experiencia específica de la mano de obra con un 21.6%, el diseño de mezcla con un 20.8% y por último la iluminación en la zona de trabajo con un 14.6%; una vez identificados los sub-factores más importantes, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis a cada uno de estos cinco sub-factores para determinar si los años de experiencia

o el grado de formación académica inciden en la percepción de estos.

3.3.1 Influencia de los años de experiencia en la percepción de los sub-factores.

La tabla 10 muestra los resultados de la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, considerando los años de experiencia para los sub-factores experiencia específica, iluminación en la zona de trabajo, diseño de la mezcla, supervisión técnica y temperatura al momento de fundir, y con un tamaño de muestra de 98 personas.

Tabla 10. Percepción de los sub-factores de acuerdo a los años de experiencia

| Sub-factor | < 2 | ≤ 5 | ≤ 10 | > 10 | p-valor | Diferencia Significativa |
|-----------------------------------|---------------|------------|-------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| Experiencia específica | 5 | 5 | 5 | 5 | 0.657 | NO |
| Iluminación de la zona de trabajo | 4 | 4 | 5 | 4 | 0.848 | NO |
| Diseño de la mezcla | 5 | 5 | 5 | 5 | 0.087 | NO |
| Supervisión técnica | 5 | 5 | 5 | 5 | 0.914 | NO |
| Temperatura al momento de fundir | 4 | 5 | 5 | 4 | 0.04 | SI |



Los resultados de la prueba con respecto a los años de experiencia muestran que en cuatro de los cinco sub-factores más importantes no existe una diferencia estadísticamente significativa en la percepción de los encuestados, sin embargo, para el sub-factor temperatura al momento de

fundir, se aprecia una diferencia estadística, al analizar la mediana de los datos se muestra una distribución asimétrica debido a que no se encuentran concentrados en el mismo rango de valores (ver Figura 7).

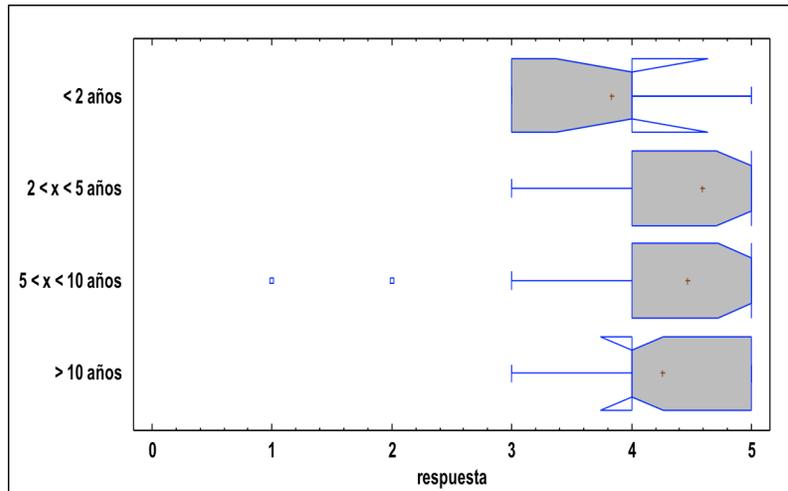


Figura 7. Gráfico de caja y bigotes del sub-factor, Temperatura al momento de fundir

3.3.2 Influencia del grado académico en la percepción de los sub-factores

Con respecto a la formación académica la prueba Kruskal-Wallis nos indica que en tres de los cinco sub-factores más importantes, no existen diferencias

estadísticamente significativas para afirmar que el grado de formación académica incide en la percepción de la influencia de dichos sub-factores en la calidad del concreto (ver Tabla 11).

Tabla 11. Percepción de los sub-factores de acuerdo con el grado de formación académica

| Sub-factor | Tec. | Pre. | Esp. | MsC. | Dr. | p-valor | Diferencia Significativa |
|-----------------------------------|------|------|------|------|-----|---------|--------------------------|
| Experiencia específica | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 0,238 | NO |
| Iluminación de la zona de trabajo | 5 | 5 | 4 | 5 | 3 | 0,007 | SI |
| Diseño de la mezcla | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0,798 | NO |
| Supervisión técnica | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 0,536 | NO |
| Temperatura al momento de fundir | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 0,017 | SI |

SPANISH VERSION.....

Sin embargo, las percepciones en cuanto a la iluminación de la zona de trabajo y la temperatura al momento de fundir sí presentan diferencias estadísticamente significativas. Por ejemplo, la mediana para los encuestados con doctorado en cuanto a la iluminación es de 3 sobre 5, lo

que nos indica que para los que se encuentran en el máximo nivel de formación académica este sub-factor no tiene una influencia importante en la calidad final del concreto (ver Figura 8).

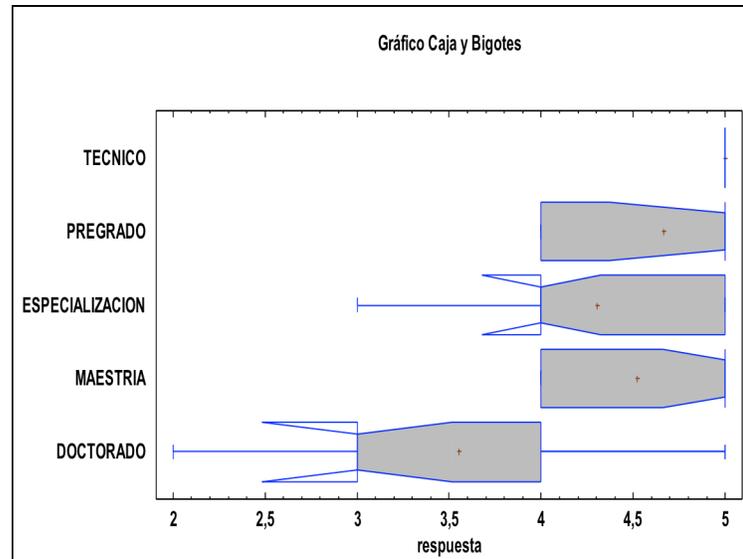


Figura 8. Gráfico de caja y bigotes del sub-factor iluminación en la zona de trabajo

En la figura 9, se observa la mediana por cada nivel de formación académica del sub-factor temperatura al momento de fundir, cuya distribución de los datos es

asimétrico, debido a que una parte de los datos está concentrada en una región y la otra parte está concentrada en otro rango de valores.

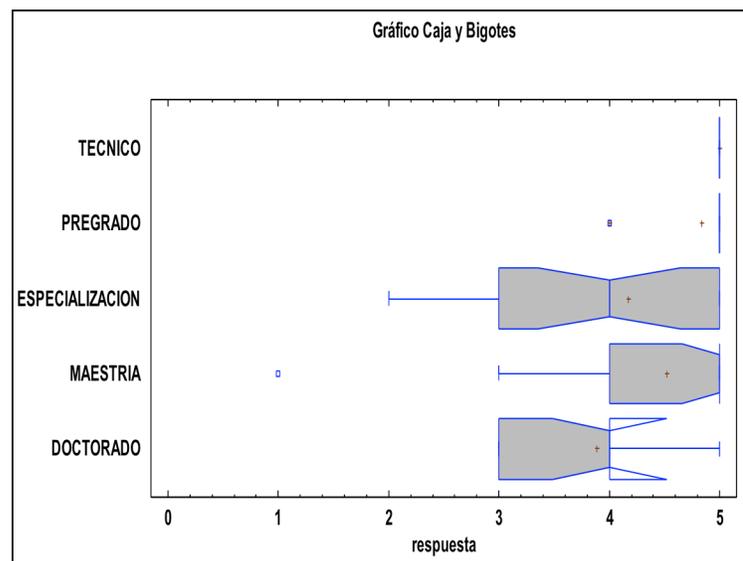


Figura 9. Gráfico de caja y bigotes del sub-factor temperatura al momento de fundir.

4. Conclusiones

Este estudio permitió determinar las ponderaciones de los factores que influyen de manera significativa en la calidad del concreto basado en la opinión de expertos en el campo

de la construcción y de los materiales. Los cinco factores encuestados presentan una ponderación similar (alrededor del 20%) lo que se puede interpretar como una conciencia



generalizada sobre la importancia de que cada factor se desarrolle de manera adecuada para garantizar la calidad del concreto.

Para cada factor se determinó el sub-factor más importante, siendo para el factor medio ambiente la temperatura el sub-factor que más afecta la calidad del concreto con un 34.3%. En el caso del factor métodos constructivos, el sub-factor que causa un mayor impacto es la supervisión técnica con 22.2%. En el factor materiales, el sub-factor diseño de mezcla fue considerado como el más importante con un 20.8%. El sub-factor iluminación óptima según los encuestados es importante a la hora del colocado del concreto con un 14.6% dentro del factor maquinaria. Por último, en el factor mano de obra, el sub-factor experiencia específica de los trabajadores fue el escogido por los encuestados como el más importante con 21.6%.

Los resultados demuestran que se está brindando mayor atención al control de los factores ambientales,

cuando la principal causa de falla encontrada por control de calidad del concreto en los casos estudiados era la mala calidad de los materiales.

En general, los análisis estadísticos demostraron que no existe diferencia significativa que indique que los años de experiencia y grado de formación académica incidan en la percepción de los factores que afectan la calidad del concreto. Sin embargo, se observó que a mayor grado de formación académica existía una mayor variabilidad en la percepción.

Por medio de la información obtenida se unificó la percepción de expertos para identificar estos factores con el objetivo de establecer una guía para el control de calidad del concreto, principalmente en climas cálidos como la ciudad de Barranquilla, por tanto, se da la sugerencia de que esta investigación pueda ser ampliada y aplicada a diferentes contextos, para poder comparar la percepción

7. Referencias

- Ahmed, I., & Ahmed, M. (1996)**, Premature Deterioration of Concrete Structures. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 10(4), 164-170.
- Banfill, P. F., Teixeira, M. A., & Craik, R. J. (2011)**, Rheology and vibration of fresh concrete: Predicting the radius of action of poker vibrations from wave propagation. *Cement and Concrete Research*, 9(41), 932-941.
- Becker, E. (2013)**, Patrones de fisuración en pavimentos de concreto: algunos conceptos básicos. *Noticreto* (120), 32-37.
- Burg, R. (1996)**, The influence of casting and curing temperature on the properties of fresh and hardened concrete. Portland Cement Association.
- Carcaño, R. G. (2004)**, La Supervisión de Obra. *Solin Ingeniería*, 55-60.
- Chan Yam, J. L., Solís Carcaño, R., & Moreno, E. I. (2003)**, Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería*, 7(2), 39-46. Obtenido de <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen7/influencia.pdf>
- CIOH, C. d. (2016)**, Climatología de los principales puertos del Caribe Colombiano. Barranquilla.
- Espinoza, J. L. (2015)**, El concreto en climas Extremos. Estado actual y últimas tecnologías en el diseño y control del concreto.
- Gillen, M., & Gilleman, J. (2013)**, Path forward: emerging issues and challenges. *Journal of safety research*.
- Incosuelos LTDA. (2016)**, Informe de consolidado de ensayos de compresión en cilindros entre el mes de enero y agosto. Barranquilla.
- Kaltakci, M. Y., Korkmaz, H. H., Kamanli, M., Ozturk, M., & Arslan, M. H. (2013)**, Evaluation of a Gravity Load Designed Reinforced Concrete Structure Failed under its Own Weight due to Creep in Concrete. In *Advanced Materials Research*, 747, 441-444.
- Koehn, E. E., & Ahmed, M. (2001)**, Quality of Building Construction Materials (Cement) in Developing Countries. *Journal of architectural engineering*, 7(2), 44-50.
- Li, X., Chow, K., Zhu, Y., & Lin, Y. (2016)**, Evaluating the impacts of high-temperature outdoor working. *Building and environment*.
- Maur, A.; Sanjuán, R.; Molineros, N. (2007)**, Desarrollo de un modelo computacional para predecir la composición de la pasta de cemento durante el proceso de fraguado. *Ingeniería y Desarrollo*, (22), julio-diciembre, 2007, pp. 54-67., Conservations
- Mobasher, B. (2008)**, USA-concrete construction industry-cement based materials and civil infrastructure. CBM-CI International Workshop, Karachi, Pakistan, 73-90.
- Navarrete, I., & Lopez, M. (2016)**, Estimating the segregation of concrete based on mixture design and vibratory energy. *Construction and Building Materials* (122), 384-390.
- Osorio, J. D. (2011)**, Durabilidad del Concreto en Zonas Costeras y Obras Portuaria. Blog 360º En Concretos.
- Palomino Sepúlveda, J. M. (2014)**, Guía para la supervisión técnica de estructuras de concreto reforzado. Documento para obtener el título de Ingeniero civil. Cartagena: Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería. Programa de Civil. 214p.
- Rodríguez F, C. A., Salazar Rodríguez, H. R., Escobar M, J. E., & Ovalle C, L. A. (2012)**, Efectos de la calidad del agua en la resistencia del concreto. *Ingeniería e Investigación*, 29-34.
- Sabäu, M., Pop, I., & Onet, T. (2015)**, Experimental study on local bond stress-slip relationship in self-compacting concrete.
- Saaty, T. L. (1990)**, How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* (48), 9-26.
- Safawi, M. I., Iwaki, I., & Miura, T. (2005)**, A study on the applicability of vibration in fresh high fluidity concrete. *Cement and Concrete Research*, 9(35), 1834-1845.
- Universidad De Los Andes, Facultad de Ingeniería. (2014)**, concepto técnico en relación a las causas más probables del colapso del edificio space. Bogota - Colombia.
- Vargas, H. A. (1998)**, Ataque por Cloruro en el concreto. IMCYC.
- Walker, F. (1976)**, Quality control of ready-mixed concrete. *Advances in ready mixed concrete technology*, 291-296.
- Zhang, W., Huang, J., Li, Z., & Huang, C. (2016)**, An experimental study on the lateral pressure of fresh concrete formwork. *Construction and Building Materials* (111), 450 - 460.

