VARIABILIDAD DE LA CANTIDAD DE CEMENTO EN CONCRETOS ESTRUCTURALES FABRICADOS CON PLANTA DOSIFICADORA PARA OBTENER UNA RESISTENCIA ESPECIFICA

Daniel Hernández de la Cruz
Facultad de ingeniería
C.U-sur, Chilpancingo de los bravo, Gro., México.
Tel:7471637574
C. P.39087
daniel.hndz.c@gmail.com

M.C. Alfredo Cuevas Sandoval
Facultad de ingeniería
C.U-sur, Chilpancingo de los bravo, Gro., México.
Tel:7471100179
C. P.39087
08721@uagro.com

M.C. Mateo Sánchez Calvo
Facultad de ingeniería
C.U-sur, Chilpancingo de los bravo, Gro., México.
Tel:7475294181C.
P.39087
03630@uagro.com

M.I. Raziel Barragán Trinidad
Facultad de ingeniería
C.U-sur, Chilpancingo de los bravo, Gro., México.
Tel:7471314582C.
P.39087
13677@uagro.com

RESUMEN

El cemento es uno de los materiales más conocidos y utilizados en la industria de la construcción, tiene una amplia gama de aplicaciones y es uno de los ingredientes indispensables para la creación de concretos estructurales en donde se aplican técnicas y métodos que garanticen que se cumplan las resistencias y demás características establecidas en el proyecto, por lo tanto en este artículo se da a conocer de qué manea influye la variación de cemento en la resistencia del concreto, trabajando en conjunto con la planta de concretos COISA, produciendo concretos estructurales durante un periodo de dos años, utilizando dos tipos de cemento bajo la especificación de diseño para la resistencia establecida de 250 kg/cm^2, por lo cual se obtuvieron datos de las pruebas realizadas desde la recopilación de insumos hasta el ensayo de los especímenes. Se consideraron los criterios de la normatividad de la SCT y el reglamento de construcción de la ciudad de México. Se utilizo un software estadístico con la metodología de tipo descriptivo univariado y bivariado, se crearon tablas y gráficas para interpretar de mejor manera los resultados obtenidos, observando en ellos la máxima y mínima cantidad de cemento que se ocupó de cada marca de cemento por metro cubico, así como la dispersión que da con respecto a la resistencia a la compresión (f'c), dando por concluido que tanto la marca de cemento como la cantidad del mismo repercute de manera significativa en la resistencia del concreto, pero sin duda alguna cumplen con lo establecido en el proyecto.

Palabras Clave:
Cemento, concreto, variación, resistencia de proyecto.

INTRODUCCIÓN

El concreto hidráulico se define como un compuesto formado por cemento, agua, agregados pétreos, aditivos, adicionantes y aire; el cual tiene la propiedad de endurecer y formar una piedra artificial, con características tales como resistencia, versatilidad, durabilidad y economía, que lo han llevado a ser el producto que más se consume en el planeta después del agua. Otra estimación es que la cantidad de concreto producido en el planeta es a razón de más de un metro cúbico por habitante, la mayoría de las construcciones en el orbe lo tienen como material principal de construcción.

El cemento es un material inorgánico finamente pulverizado que, al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava, asbesto u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad.

El cemento en la mezcla de concreto es el elemento más importante y de mayor costo que el resto de los componentes, razón por la que debe cuidarse en la dosificación la cantidad de cemento adicionada. Cantidades en exceso, dan mayores resistencias, pero se encarece la mezcla y si la cantidad no es suficiente para alcanzar la resistencia de proyecto, la estructura puede tener serios problemas en su comportamiento. El consumo de cemento de acuerdo con el ACI-211.1, recomienda 100 kg de cemento más el valor del f'c de proyecto para un metro cubico de mezcla producido. Sin embargo, cuando las dosificaciones son por peso, en planta dosificadora y mezclado central o camión revolvedor, la calidad de los componentes cumple y supera las especificaciones, los valores de consumo de cemento pueden incluso llegar a ser iguales al valor del f'c de proyecto.

La resistencia a la compresión se define como la oposición que presenta un espécimen o elemento de concreto bajo una carga axial expresada como la fuerza por unidad de área neta generalmente dada en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2), a la edad de 28 días. La cual es una propiedad física fundamental, siendo empleada en los cálculos para diseño de estructuras de concreto.

La calidad del concreto hidráulico se juzga por medio de la prueba de compresión simple, para verificar si éste cumple con las especificaciones requeridas utilizando cubos o cilindros hechos con muestras de concreto fresco. Esta prueba es fácil de practicar y suele dar un panorama general de la calidad del concreto por estar directamente relacionada con la estructura de la pasta y su importancia radica en el diseño estructural.

En el medio de la construcción e ingeniería, la resistencia a la compresión es la característica más valiosa del concreto además de la durabilidad, impermeabilidad y estabilidad de volumen.

La resistencia a la compresión real del concreto producido en laboratorio o en obra, es una cantidad variable. Las fuentes de la variabilidad son muchas: desde los ingredientes, dosificación, hasta los resultados de las pruebas, influyendo en estas el tipo de espécimen de prueba, el tamaño del espécimen, tipo de molde, curado, preparación de la superficie del extremo, rigidez de la máquina de pruebas, rapidez de la aplicación del esfuerzo, etc.

Al desarrollar este trabajo se pretende obtener resultados que al compararlos con los criterios y normas establecidas se verifique el grado de cumplimiento de la producción de concreto de una planta de premezclado haciendo uso de un programa estadístico (SPSS), y una base de datos.

1.- FUENTES DE VARIABILIDAD

Existen diversas fuentes de variación que inciden radicalmente en la resistencia u otro requerimiento especificado, algunas fuentes de variación se deben a las propiedades del concreto, como pueden ser:

1) La relación agua-cemento
   a) Control deficiente de la cantidad de agua
   b) Variación de la humedad en los agregados
2) Requerimientos de agua
   a) Absorción y forma de los agregados
   b) Características del cemento y aditivos
   c) Contenido de aire
   d) Tiempo de suministro
3) Características y proporciones de los ingredientes
   a) Agregados
   b) Cementos
   c) Puzolanas
   d) Aditivos
4) Transporte y colocación
5) Temperatura y curado

Otras fuentes de variación radican en la deficiencia en los métodos de prueba:

1) Procedimientos incorrectos de muestreo
2) La técnica de fabricación de cilindros
3) Moldes de calidad deficiente
4) Cambios ambientales durante curado (T, %H)
5) Procedimiento de pruebas
   a) Cabeceo incorrecto de muestra
   b) Variación en la aplicación de carga

2. CONTROL DE FACTORES PARA PRODUCIR UN CONCRETO F´C 250 KG/CM^2

El análisis en el presente trabajo consiste en conocer, controlar y comparar la variabilidad de los consumos de cemento y el comportamiento de la resistencia del concreto, para esto se hace uso de dos diferentes tipos de cementos (Moctezuma y Tolteca) y un solo banco de arena y de grava ubicados en Mezcala, la producción se realizó durante los meses de producción continua en una planta de concreto premezclado. Aplicando los criterios de la normatividad de SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes), el reglamento de construcción de la ciudad de México y las Normas Mexicanas (NMX de la serie C).

Se obtuvo una base de datos con los registros de dos años de producción de concreto. Donde incluye: cantidad de cemento por metro cubico, resistencia, marca de cemento utilizada, tipo de probeta para ensayo del concreto, verificación de la resistencia alcanzada, edad de ensayo, revenimiento y temperatura, entre otras.

El proceso en la planta fue de la siguiente manera: Acopio de insumos, análisis de calidad (en particular a los agregados pétreos), cálculo de cantidades para la dosificación, dosificación y fabricación, toma de muestras para verificación del concreto en estado fresco y endurecido, transporte y colocación en obra. Esta serie de pasos permitió obtener los valores en la base de datos.

FIGURA 1. Dosificación de concreto premezclado.

La evaluación de los resultados registrados en la base (342 observaciones o casos), se efectuó con un software estadístico SPSS versión 18, aplicando metodología estadística de tipo descriptivo univariado y bivariado para explicar la variabilidad del consumo de cemento en las mezclas producidas en planta dosificadora y mezclado con camión revolvedor.

FIGURA 2. Colocación a tiro directo de concreto premezclado.

FIGURA 3. Muestreo de concreto premezclado.

FIGURA 4. Ensaye a compresión

3. RESULTADOS

Las variables de las mezclas de concreto estudiadas como son marca de cemento, consumo de cemento y resistencia a compresión, al ser analizadas y comparadas, se encontró en Tabla 1 que el consumo de cemento promedio por metro cúbico de concreto producido es de 277.44 kg/m^3 para la marca Moctezuma y de 271.54 kg/m^3 para la marca Tolteca, observando valores promedio muy cercanos entre sí. El mínimo consumo de cemento es de 257 kg/m^3 para la marca Tolteca y 260 kg/m^3 para Moctezuma. El consumo máximo es de 289 kg/m^3 para Tolteca y 316 kg/m^3 para Moctezuma. Los rangos de consumo van de 56 kg/m^3 para Moctezuma y 32 kg/m^3 para Tolteca. La desviación estándar es relativamente cercana de 9.49 y 8.27 para Moctezuma y Tolteca respectivamente. De igual manera los coeficientes de variación son bajos en ambas marcas 3.56 y 3.05.

La edad de garantía del concreto es a la edad de 28 días de acuerdo con el f'c de proyecto. En la Tabla 2, se muestra el análisis de los especímenes a compresión por marca de cemento y para la marca Moctezuma con 159 casos, da un promedio de 290.76 kg/cm^2 y para la marca Tolteca con 183 casos es de 270.34 kg/cm^2. Lo que indica muestras grandes y promedios que cumplen con el f`c de proyecto de 250 kg/cm^2. La mínima resistencia es de 185 y 214 kgcm^2 para Tolteca y Moctezuma respectivamente. La máxima resistencia es de 370 y 349 kg/cm^2 par Moctezuma y Tolteca respectivamente. Los rangos de resistencia van de 156 y 164 kg/cm^2 para Moctezuma y Tolteca respectivamente.

Con respecto al C.V. se tiene un 11.58% con la marca Moctezuma y 10.43% con Tolteca, que muestra la dispersión de la información; donde la dispersión es menor en tolteca y cumple con lo que señala el reglamento de construcción de la CDMX 2017. El valor de resistencia más recurrente es 274 y 263 kg/cm2, para Moctezuma y Tolteca respectivamente.

TABLA 1. Estadísticos descriptivos de consumo de cemento por marca de cemento a 28 días de edad

28 días	Consumo de Cemento por m^3	
	Marca de Cemento	
	MOCTEZUMA	TOLTECA
Media	277.44	271.54
Mediana	276.00	271.00
Mínimo	260.00	257.00
Máximo	316.00	289.00
Rango	56.00	32.00
Moda	276.00	266.00
Desviación típica	9.49	8.27
Varianza	89.99	68.45
C.V.	3.56	3.05
N total	159	183

TABLA 2. Estadísticos descriptivos de resistencia a compresión por marca de cemento a 28 días de edad

28 días	Marca de Cemento	
	MOCTEZUMA	TOLTECA
	Resistencia a Compresión (Kg/cm^2)	Resistencia a Compresión (Kg/cm^2)
Media	290.76	270.34
Mediana	289.00	271.00
Mínimo	214.00	185.00
Máximo	370.00	349.00
Rango	156.00	164.00
Moda	274.00	263.00
Desviación típica	33.67	28.19
Varianza	1133.97	794.75
C.V.	11.58	10.43
N total	159	183

En la Figura 5 se observa cómo se distribuyen las frecuencias de consumo de cemento en la fabricación de cemento, durante los meses de producción, ajustando a una distribución casi normal.

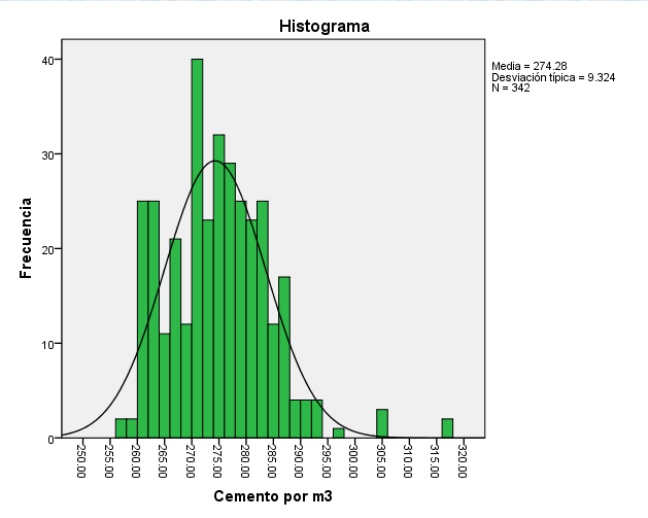

FIGURA 5. Histograma de frecuencias para la resistencia del concreto producido.

La Figura 6, muestra las frecuencias de los ensayes de especímenes de concreto en los diferentes meses de producción, con un comportamiento que se ajusta a una distribución normal.

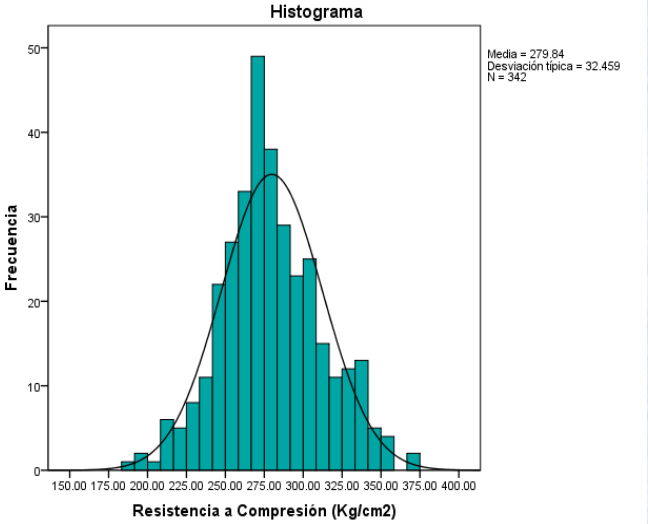

FIGURA 6. Histograma de frecuencias para la resistencia del concreto producido.

En la Figura 7, la variable consumo de cemento por marca de cemento, muestra la mayor dispersión en mezclas fabricadas con la marca Moctezuma, con consumos atípicos y valores extremos mayores a 300 kg/m^{2,} con respecto a los resultados de la marca Tolteca. En ambas mezclas producidas con los dos cementos presentan valores con moderada dispersión o variabilidad de los datos.

La Figura 8, para la variable resistencia a compresión, muestra la dispersión mayor en los cilindros ensayados para marca Tolteca, y presenta valores atípicos, con respecto a los resultados de la marca Moctezuma. En ambos concretos producidos con los dos cementos presentan valores con una alta dispersión o variabilidad de los datos. Que indica que existe una varianza en los cilindros de concreto ensayados.

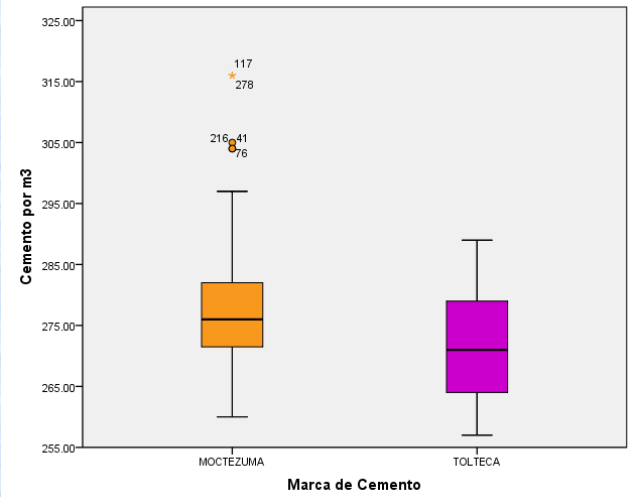

FIGURA 7. Comparación de consumo de cemento por marca.

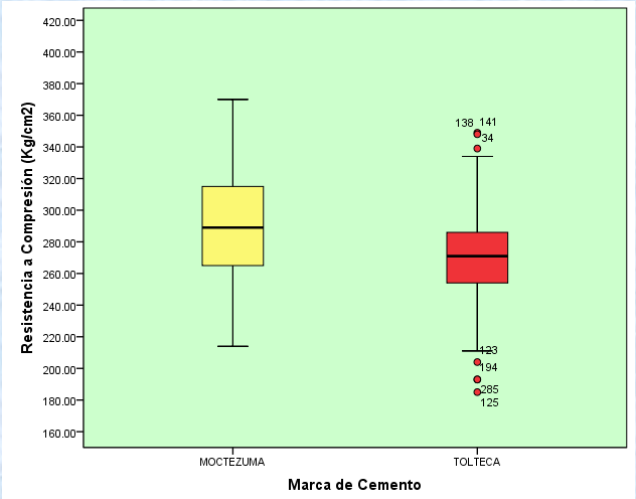

FIGURA 8. Comparación de resistencia a compresión por marca de cemento.

En la figura 9, se muestra cómo se distribuyen los valores de consumo de cemento por mes en la fabricación de mezclas de concreto, observando que el mes de agosto es donde se aplican solo tres consumos diferentes de cemento. En los meses de febrero y marzo es donde más se utilizan valores de consumo de cemento diferentes en la fabricación de mezclas. Así también se detectan los meses de mayor producción de concreto; enero, febrero, marzo y abril; y menor en agosto, septiembre, octubre y mayo. En el mes de junio y luego en febrero, se detecta un elevado consumo de cemento en la mezcla.

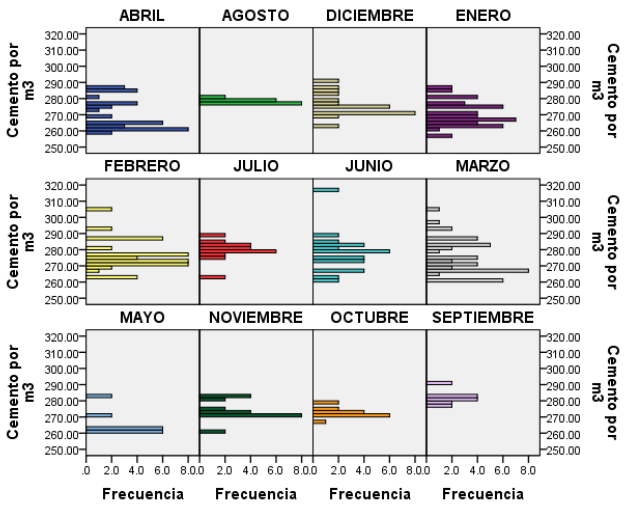

FIGURA 9. Distribución de los valores de consumo de cemento en la mezcla por mes.

En la Figura 10, se observa la distribución de los consumos de cemento. La marca Moctezuma tiene mayor variabilidad, lo que significa un mayor uso de cantidades de cemento en las mezclas. Se observa también, las cantidades más altas de cemento, con respecto a la marca Tolteca. Donde las cantidades de cemento son menores y con menor variabilidad.

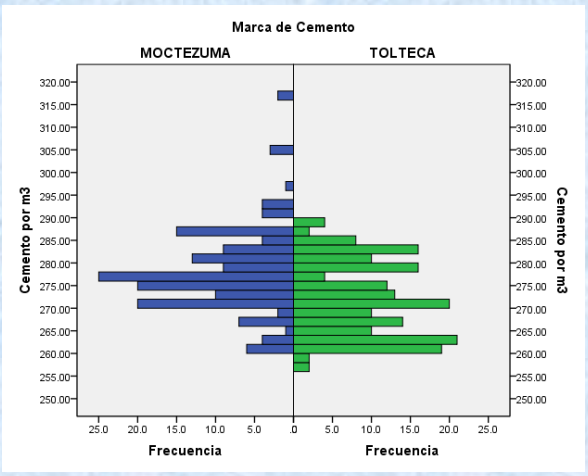

FIGURA 10. Distribución de los valores de consumo de cemento en la mezcla por marca.

En la Figura 11, se muestra cómo se distribuyen los valores de resistencia a compresión por mes, en las probetas ensayadas de cada una de las mezclas de concreto, observando que el mes de agosto es donde ensaya la menor cantidad de especímenes y la mayor cantidad en el mes de febrero. En los meses de febrero y diciembre es donde se obtienen los valores más altos de resistencia a compresión de las mezclas de concreto producidas y los valores más bajos es el mes de mayo.

En la Figura 12, se observa la distribución de la resistencia a compresión por marca de cemento. Ambas marcas de cemento presentan una distribución similar, solo que, la frecuencia de ensayos en la marca Tolteca es mayor. La marca Moctezuma tiene mayores valores de resistencia y menor frecuencia de ensayos, pero de acuerdo con las figuras 8 y 9, presenta los mayores consumos de cemento. Lo que remite a la regla a mayor cantidad de cemento en la mezcla, mayor resistencia en el concreto. La marca tolteca presenta los menores valores de resistencia a compresión.

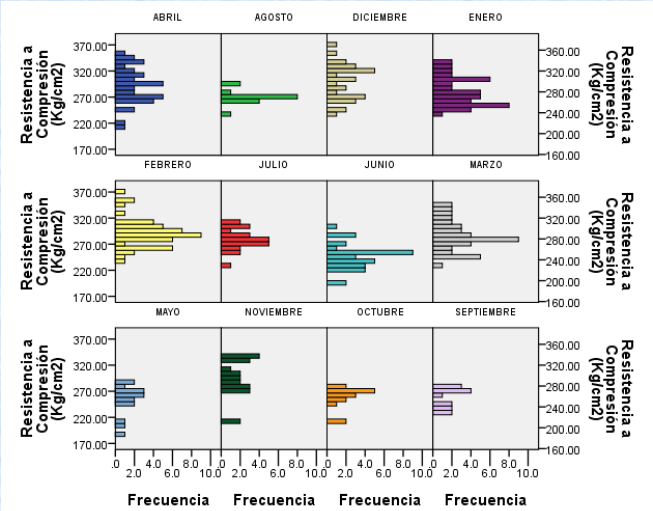

FIGURA 11. Distribución de los valores de resistencia a compresión por mes.

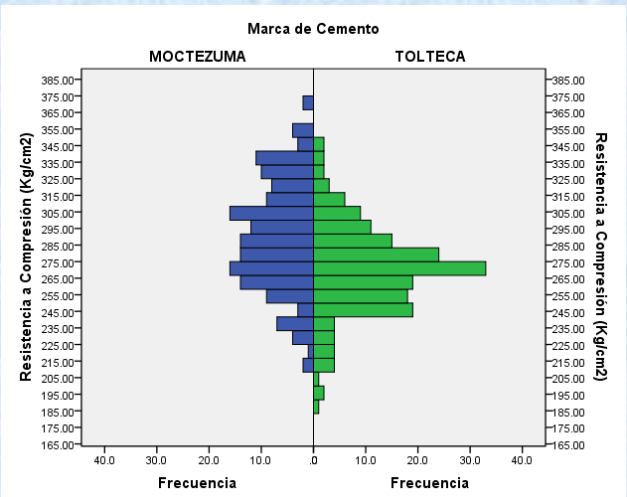

FIGURA 12. Distribución de los valores de resistencia a compresión por marca.

CONCLUSIONES

Los dos cementos utilizados en la fabricación de mezclas de concreto presentan resultados promedio para la edad de 28 días que cumplen con la resistencia de proyecto. El promedio mayor de resistencia es con el cemento de la marca Moctezuma.

La variabilidad, para la variable consumo de cemento es mayor en la marca de cemento Moctezuma con respecto a la marca Tolteca. De acuerdo con los análisis bivariados se detecta una gran dispersión o variabilidad de los valores de consumo de

cemento, lo que de igual manera genera una gran dispersión de los valores de resistencia a compresión del concreto, partiendo de que, a mayor cantidad de cemento en la mezcla, mayor resistencia en el concreto, regla que quizá no siempre se cumple, pero en el presente análisis la tendencia indica que sí.

Después de haber realizado todo el análisis de datos se llega a la conclusión de que la marca de cemento si influye en el comportamiento de la resistencia del concreto. Por lo que es conveniente hacer los ajustes necesarios al diseño de mezclas para optimizar el consumo de cemento, debido a que es el insumo con más costo. La resistencia de la marca de cemento Moctezuma supero el f'c de 250 kg/cm2 en 41 kg/cm2 y Tolteca en 20 kg/cm2.

RECONOCIMIENTOS

Le agradezco al Grupo de investigación del PE de Ingeniero Constructor de la FI-UAGro, Calidad de los Materiales de construcción, por darme la oportunidad de participar y desarrollar habilidades investigativas en el ámbito de los materiales de construcción, así como su ayuda y dedicación ya que inspiran mi formación profesional.

REFERENCIAS

ACI-311-1999. (2009). *Manual para supervisar obras de concreto.* México, D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto.

Guzmán, D. S. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero.* Santa Fe de Bogotá, Colombia: BANDAR EDITORES LTDA.

I.M.T. (2017). Normativa para la Infraestructura del Transporte. *Normativa SCT*. México.: http://www.imt.mx.

IBM. (30 de 07 de 2009). PASW Statistics 18. EE.UU.

Kosmatka, S. C., Paranese, W. C., Kerkhoff, B., & Tanesi, J. (2014). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto.* Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.

NMX-C. (1997-2019). Industria de la Construcción. *Conjunto de normas de la serie "C"*. CDMX, México: ONNCCE.

NMX-C-083. (2014). Industria de la Construcción. *Determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto*. México, D.F.: ONNCCE.

NMX-C-111. (2018). Industria de la Construcción. *Agregados-Especificaciones*. CDMX, México: ONNCCE.

NMX-C-122. (2004). Industria de la construcción. *Agua para concreto*. México, D.F.: ONNCCE.

NMX-C-155. (2014). Industria de la Construcción. *Concreto Hidráulico - Dosificado en Masa Especificaciones y Métodos de Ensayo.* . México, D.F.: ONNCCE.

NMX-C-255. (2013). Industria de la construcción. *Aditivos Químicos Para Concreto - Especificaciones y Métodos de Ensayo.* México, D.F.: ONNCCE.

NMX-C-414. (2017). Industria de la Construcción. *Cementantes Hidráulicos – Especificaciones y Métodos de ensayo*. CDMX, México: ONNCCE.

S.C.T. (2002). Normativa SCT. *N-CMT-2-01-002/02, 2002 Calidad de los Materiales*. México, D.F., México.