

Comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto a diferentes altitudes en las localidades de Puno – 2016

Behavior of the resistance to compression of the concrete at different altitudes in the localities of Puno - 2016

Germán Quispe¹; Julio Laura¹; Heber Chui¹; Samuel Laura¹

RESUMEN

Durante el proceso de ejecución de las obras presentan deficiencias en el uso de concreto cuando hay oscilaciones térmicas muy fuertes. Por lo que es necesario conocer de manera rápida el comportamiento de la resistencia del concreto en obra, por ello se pretende determinar la resistencia del concreto y la influencia del clima en diferentes alturas (Laraqueri 4530 msnm; Pichacani 4300 msnm; Salcedo 3840 msnm; San José 3810 msnm) localizadas en el distrito de Puno. Para ello se ha caracterizado el clima a diferentes alturas en los ámbitos de estudio, básicamente las oscilaciones máximas absolutas y la fisiografía, luego se ha realizado el diseño de mezcla de concreto, posteriormente se ha tomado testigos de concreto fresco y fueron llevadas a laboratorio para su análisis correspondiente y finalmente se hizo las pruebas estadísticas. Los resultados muestran que a medida que varía las alturas también varían las temperaturas, este comportamiento hace que a mayor altura es menor la resistencia del concreto endurecido. Por lo que podemos concluir que la altura influye negativamente en el desarrollo del concreto en Puno.

Palabras clave: bajas temperaturas, diferentes altitudes, Puno, resistencia de concreto, río Cutimbo.

ABSTRACT

During the process of execution of the works they present deficiencies in the use of concrete when there are very strong thermal oscillations. Therefore it is necessary to know quickly the behavior of the concrete resistance at work, so it is intended to determine the concrete strength and the influence of the climate at different heights m.s.n.m. In 04 localities of district of Puno. For this purpose, the climate has been characterized at different heights in the study areas, basically the absolute maximum oscillations and the physiography, then the concrete mix design has been done, later it has taken control of fresh concrete and they were taken to the laboratory for Their corresponding analysis and finally the statistical tests were made. The results show that as heights vary the temperatures also change, this behavior makes the height of the hardened concrete lower. So we can conclude that the height has a negative influence on the development of concrete in Puno.

Keywords: low temperatures, different altitudes, Puno, concrete resistance, Cutimbo river

1. Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Alas Peruanas – Filial Puno
E-mail: belge29@hotmail.com jcesar_emp@hotmail.com heberchui@gmail.com samuel.ingcivil@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación sobre “evaluación de la resistencia a compresión del concreto a partir de testigos con pruebas de esclerómetro en obra a diferentes cotas en las localidades Puno, Puno - 2016”. El esclerómetro se ha utilizado desde los últimos 50 años como una herramienta no destructiva para establecer una comparación de la resistencia a la compresión del concreto (Solís, Moreno, & Vázquez, 2011); (Solís, Moreno, & Castillo, 2004); (Solís & Moreno, 2005). Como este ensayo no deteriora al concreto, se clasifica como un ensayo no destructivo, que se puede emplear a partir de la puesta del concreto en obra en su estado endurecido (Stone, Carino, & Reeve, 1986); (Pasino, 2003).

Los proyectos de construcción, sea cual fuere la región, lugar y clima presentan particularidades e inconvenientes dignos de alguna solución de ingeniería (Apaza, 2004), (ALT, 2014). En este caso que nos ocupa, las significativas gradientes térmicas, bajas temperaturas al inicio y al final del día así como una importante radiación solar al medio día, generan trastornos en las mezclas de concreto fundamentalmente en sus consistencias y su consiguiente proceso de endurecimiento o fragua (también lo hacen en su resistencia), (Abanto, 2009); (Servant & Fontes, 1978); (Speicher, 2007) 2007)

Para (Abanto, 2009) en su trabajo determinación de la resistencia a la compresión de cilindros a edades tempranas mediante el empleo del esclerómetro, indica que la resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras (Barriga, 2007); (Merchan & Nuñez, 2015). La resistencia a la compresión se mide normalmente fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayo de compresión (Mehta & Monteiro, 1998), se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) en unidades corrien-

tes usadas en EEUU, en mega pascales (MPa) en unidades del SI y en Kg/cm² en unidades MKS (Mandel, 1984).

Por otro lado (Apaza, 2004) hace referencia sobre el desconocimiento de solución al congelamiento del concreto en zonas altiplánicas, este efecto muchos de los profesionales pasan por alto; más aún incurren en el error creyendo dar solución “añadiendo más cemento”, ésta es una solución errónea que desmerece los principios de tecnología del concreto (Pasino, 2003); (Mandel, 1984), por otra parte frecuentemente la idiosincrasia en las instituciones públicas que se copian especificaciones foráneas y repiten especificaciones para proyectos completamente diferentes y no cuenta el fenómeno de las heladas (Aguirre, Miranda, & Verhasselt, 2001); (Pasino, 2003). Por lo tanto se ha observado la baja calidad del concreto en el altiplano, por lo que la presente investigación tiene por objetivo determinar el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto a diferentes altitudes en las localidades de Puno.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se ha realizado en la región altiplánica con climas frío seco sobre cotas de 3810 hasta más de 5000 m.s.n.m. La evolución del altiplano ha estado ligada fundamentalmente a los cambios de clima. La alternancia de los períodos húmedos y secos, cálidos y glaciares. Con temperaturas media anual superiores a 8 °C con mínimas extremas de -27°C. El gradiente térmico es de 0.76 °C/100 m. Para la zona comprendida entre 3,800 y 4,000 m.s.n.m., la dispersión de las temperaturas es grande debido a los efectos de exposición, de abrigo y de distancia al lago. Con humedad relativa anual en el contorno del lago varía de 50 a 65%, para temperaturas de 8 a 10 °C. Los valores más bajos, de 50 a 45% se observan en el sur de la cuenca. La variación anual sigue la de las precipitaciones, con un aumento durante los meses de diciembre a marzo (máximo en enero o febrero, alcanzando el 70%), y una disminución entre junio y octubre (mínimo en julio, con menos del 50%). En Co-

pacabana, estos dos valores son respectivamente de 70% y 52% (ALT, 2014), (Aguirre et al., 2001)

Los datos meteorológicos fueron proporcionados por la Oficina de del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Puno (SENAMHI 708-Puno). Las estaciones meteorológicas de diferentes categorías están ubicadas en diferentes zonas de cuenca del Titicaca: Los datos meteorológicos utilizados son: Temperaturas: máximas, mínimas, y oscilación térmica; precipitación media mensual; humedad relativa. El método de investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se usó la recolección de datos para probar la hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías del comportamiento de agregado, cemento, agua, temperatura y resistencia del concreto (Abanto, 2009).

Se obtuvo información primaria (certificados), secundarias y observación directa In situ a través de certificado de diseño de mezclas, certificados de roturas de briquetas, certificados de pruebas de esclerómetro y series históricas de temperaturas máximas y mínimas. Se hizo el diseño de mezcla teniendo un control granulométrico de los agregados en base a las normas vigentes, estudio de los agregados y básicamente se procesó la información meteorológica desde 1964 a 2016. Asimismo, se ha se preparó la mezcla con los mismos agregados, agua en las obras, en ella se

ha tomado los testigos para luego llevar al laboratorio para su análisis correspondientes e in situ. Dichos resultados se analizaron mediante pruebas estadísticas: Análisis de regresión múltiple utilizando el método de máxima verosimilitud, prueba t para la significancia de los coeficientes de regresión, prueba t para análisis de tendencia, ANOVA para regresión múltiple y ANOVA de un factor (diseño completo al azar), de dos factores (diseño bloque completo al azar) y factorial (Hindo & Bergstrom, 1985).

RESULTADOS

El agregado del río Cutimbo tiene un peso específico 2.37 g/cm³ y un porcentaje de absorción de 2.76, peso unitario suelto 1581.35 Kg/m³, compacto de 1718.51 Kg/m³ de agregado fino y peso unitario suelto 1557.37 Kg/m³, compacto de 1612.35 Kg/m³ para agregado grueso. Los agregados del río Cutimbo, Cemento Yura tipo IP, los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron a los 7,14 y 28 días, con una relación agua/cemento de 0.57. Con un módulo de fineza tiene un valor de 7.05. Según el diseño de mezclas obtenido en el laboratorio se tiene la siguiente proporción para (1 bolsa de cemento de 42.5kg), tamaño Máximo Nominal = 1” y % de absorción = 2.76, la relación a/c = 0.57 = 195lt. Para mayor detalle se muestra en la tabla:

Tabla N° 1. Dosificación de insumos para la producción de concreto en obra, Puno-2015.

Descripción	Bols/C=42.5Kg.	Proporción	M3
Cemento	42.5	1	0.11
Agregado fino	92.15	2.07	0.31
Agregado grueso	119.43	2.72	0.37
Agua	25.31	25.35 Litros	0.2

Fuente: Registro de dosificación

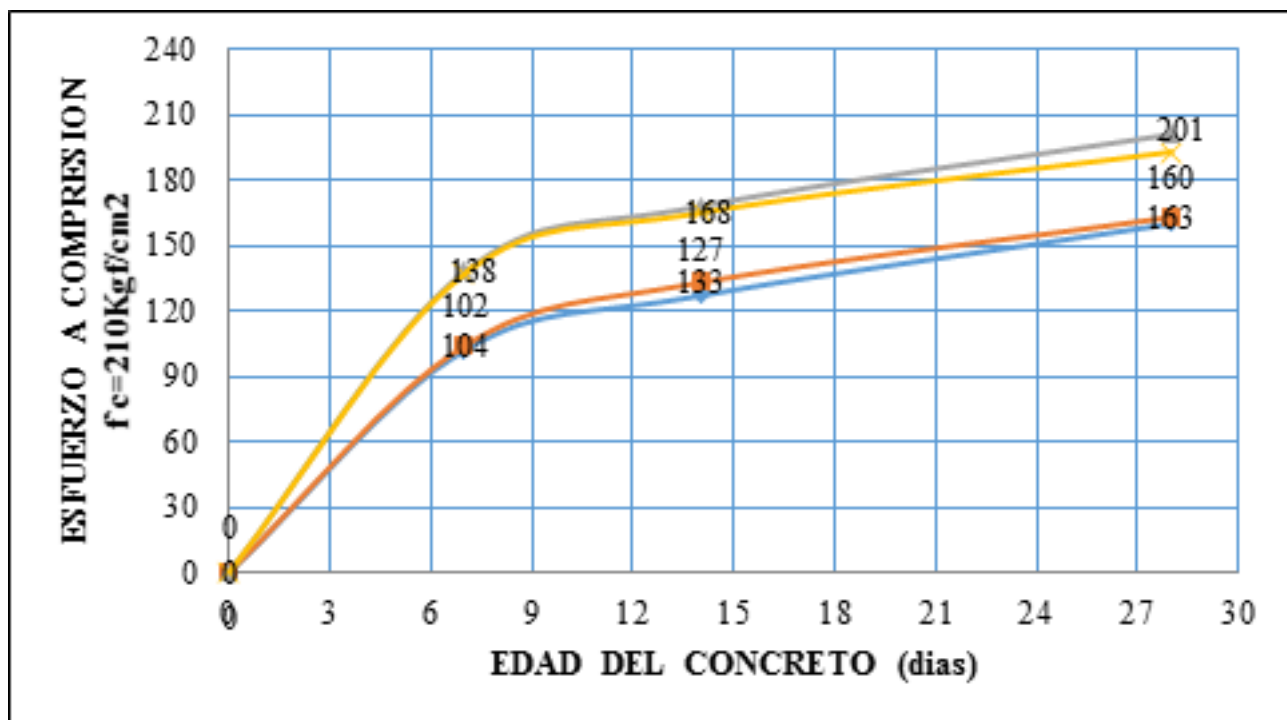
Se obtiene la resistencia de compresión simple concreto endurecido mediante la rotura de probeta (testigos – briquetas), para ver como es el comportamiento de los mismos a diferentes alturas (las localidades de San José, Salcedo, Pichacani y Laraqueri), asimismo in situ con pruebas de impacto.

Tabla N° 2. Resumen de resistencia a la compresión simple del concreto en probetas de 6"x12", cuatro localidades de Puno, 2015.

RESISTENCIA (kg/cm ²)				
Edad (días)	Obra Laraqueri Resistencia (kg/cm ²)	Obra Pichacan Resistencia (kg/cm ²)	Obra San Jose Resistencia (kg/cm ²)	Obra Salcedo Resistencia (kg/cm ²)
7 días	102	104	138	137
14 días	127	133	168	165
28 días	160	163	201	193

Fuente: Registro de la compresión simple del concreto en probetas

Gráfico N° 1. Esfuerzo a la compresión del concreto a diferentes alturas versos edad del concreto, Puno.



Se han hecho muchos intentos de crear pruebas no destructivas, pero muy pocas de ellas han sido realmente exitosas. Un método para el que se ha encontrado aplicación práctica dentro de un campo limitado es la prueba del martillo de rebote, desarrollada por Ernst Schmidt. También se conoce como la prueba de martillo de impacto o Esclerómetro.



Figura N° 1. Representación de ensayo con el martillo de rebote

El desarrollo del ensayo consiste en un área de preparación de las zonas a elegir aleatoriamente, eliminando zonas no apropiadas, zonas rugosas, superficies dañadas, zonas cubiertas de tarrajeo adecuadamente limpiadas sin dañar las superficies de la estructura. El ensayo se efectúa 10 percusiones con el martillo en la zona elegida y se eliminan los 5 valores más bajos, efectuándose el promedio de los restantes, en donde se ha promediado las 10 percusiones debidas que son aproximados los puntos ensayados.

Una vez realizado los ensayos todas las zonas necesarias, se llevan al grafico de correlación y se obtienen los valores estimativos de la resistencia a compresión simple de la estructura elegida, obteniendo una idea de su estado y calidad, para verificar resistencia real.

Tabla N° 3. Resumen de pruebas con esclerómetros in situ en paños en la losa deportiva de Laraqueri, 2015

N° Paño	RESISTENCIA (Kg/cm ²)				
	Lect. Promedio (90°)	R	Desviacion Estandar	Resistencia Promedio (Kg/Cm ²)	Desviacion Estandar
Paño 08	31		1	164	18
Paño 10	30		1	149	14
Paño 25	31		1	163	17
Paño 32	31		1	158	16

Fuente: Registro de esclerómetro de Schmidt

Tabla N° 4. Resumen de pruebas con esclerómetros in situ en paños en la losa deportiva de Pichacani, 2015

N° Paño	Resistencia (Kg/Cm ²)				
	Lect. Promedio (90°)	R	Desviacion Estandar	Resistencia Promedio (Kg/Cm ²)	Desviacion Estandar
Paño 01	31		1	162	14
Paño 11	31		1	159	17
Paño 18	31		1	161	20
Paño 27	31		1	164	15

Fuente: Registro de esclerómetro de Schmidt

Tabla N° 5. Resumen de pruebas con esclerómetros in situ en paños en la losa deportiva de Pichacani, 2015

N° Paño	Resistencia (Kg/Cm ²)				
	Lect. Promedio (90°)	R	Desviacion Estandar	Resistencia Promedio (Kg/Cm ²)	Desviacion Estandar
Paño 01	34		1	209	16
Paño 13	35		1	213	17
Paño 27	35		1	211	16
Paño 20	35		1	213	17

Fuente: Registro de esclerómetro de Schmidt

Tabla N° 6. Resumen de pruebas Esclerométricos IN SITU, San José, 2015.

N° Paño	Resistencia (Kg/Cm ²)				
	Lect. Promedio (90°)	R	Desviacion Estandar	Resistencia Promedio (Kg/Cm ²)	Desviacion Estandar
Paño 01	35		1	213	16
Paño 13	35		1	213	19
Paño 23	35		1	212	18
Paño 33	35		1	214	21

Fuente: Registro de esclerómetro de Schmidt

Tabla N° 7. Resumen promedio de las pruebas Esclerométricos versus Altitud (msnm), Puno - 2015.

Resistencia vs Localidad	
Localidad (msnm)	Resumen de resistencia promedio (kg/cm ²)
Obra Laraquire = 4530	159
Obra Pichacani = 4300	162
Obra Salcedo = 3840	211
Obra San José = 3810	213

Fuente: Registro de esclerómetro de Schmidt por altitud

Los resultados obtenidos con pruebas esclerométricos muestran que a menor altura de cotas las resistencias a la compresión del concreto endurecido son mayores, por lo que se deduce que las resistencia a la compresión del concreto endurecido es inversamente proporcional a la altura en las localidades del distrito de Puno durante el estudio, además las temperaturas varían en función a la cota (altura en metros sobre el nivel del mar).

Tabla N° 8. Resumen de las pruebas de resistencia de probetas de 6"x12", Puno-2015

Edad (Días)	Resistencia (Kg/Cm ²)			
	Obra Laraquire Resistencia (Kg/Cm ²)	Obra Pichacani Resistencia (Kg/Cm ²)	Obra Salcedo Resistencia (Kg/Cm ²)	Obra San José Resistencia (Kg/Cm ²)
7 Días	102	104	138	137
14 Días	127	133	168	165
28 Días	160	163	201	193

Fuente: Registro de la compresión simple del concreto en probetas

Se puede observar en el gráfico el diagrama de barras de las resistencias a la compresión de concreto con el tiempo de endurecido es en forma ascendente la resistencia y en cuanto disminuye la altura sobre el nivel del mar.

Tabla N° 9. Resumen de resistencia de probetas de 6"x12" versos a la altura en msnm, Puno – 2015

Resistencia Vs Localidad	
Localidad(Msnm)	Resumen de Resistencia Promedio (Kg/Cm ²)
Obra Laraqueri = 4530	159
Obra Pichacani = 4300	162
Obra Salcedo = 3840	211
Obra San José = 3810	213

Fuente: Registro de la compresión simple del concreto en probetas

Como se puede observar podemos ver la resistencia del concreto como varia con respecto a la altitud de cada localidad msnm.

DISCUSIÓN

Las características climáticas de Laraqueri (4530 msnm), Pichacani (4300 msnm), Salcedo (3840 msnm) y San José (3810 msnm) varían en función a sus cotas, presentando en función las alturas mayor oscilación térmica máxima en la localidad de Laraqueri en comparación Salcedo (Aguirre et al., 2001).

En la localidad de Salcedo se obtuvo una resistencia a la compresión mayor ($169.09 \pm 31.58\text{kg/cm}^2$) y similar a la de San José ($164.90 \pm 28.42\text{kg/cm}^2$); en cambio las otras localidades han presentado inferior a los anteriores (Pichacani con $133.23 \pm 29.39\text{kg/cm}^2$ y Laraqueri con $129.67 \pm 29.18\text{kg/cm}^2$), ya que estas han presentados bastantes variabilidades del medio ambiente, estas influyen en el desarrollo del concreto, notando una relación entre la altitud y el desarrollo del concreto; trabajos similares (Barriga, 2007), (R Solís & Moreno, 2005) (Apaza, 2004) indican la influencia de factores climáticos en la calidad del concreto.

Así mismo se pudo constatar que a mayor altitud disminuye la resistencia del concreto en su estado endurecido.

Además se tuvo similares características con la prueba esclerométrico o no destructivo que permite conocer la evolución de la resistencia de una manera económica y en poco tiempo, además de conocer la homogeneidad y calidad del concreto sin deteriorar la estructura (Merchan & Nuñez, 2015).

La diferencia encontrada en la presente investigación referida a la resistencia a la compresión en las obras de: Laraquire, Pichacani, Salcedo, San José, con respecto a las altitudes, estarían estrechamente relacionados a las condiciones climáticas como la humedad presente en la atmósfera, sin embargo, no todo el cemento de una mezcla de concreto reacciona con el agua, por lo que realmente determina la calidad de la pasta de cemento es la concentración de productos sólidos de hidratación del cemento (Barriga, 2007); (Rómel Solís et al., 2011).

Por lo que mantener el concreto durante el mayor tiempo posible en un estado que favorezca la hidratación del cemento se ha considerado para obtener un concreto de mejor calidad (Solis et al., 2004)(Mehta & Monteiro, 1998)(Servant & Fontes, 1978) (Barriga, 2007).

La pérdida de hidratación también suele evitarse sellando la superficie del concreto con una resina sintética de hidrocarburo (Merchan & Nuñez, 2015) (Villalobos, 1994)

CONCLUSIONES

Las características climáticas de Laraqueri, Pichacani, Salcedo y San José varían en función a sus cotas, presentando en función las alturas mayor oscilación térmica máxima en la localidad de Laraqueri en comparación Salcedo.

En la localidad de Salcedo se obtuvo una resistencia a la compresión mayor ($169.09 \pm 31.58 \text{ kg/cm}^2$) y similar a la de San José ($164.90 \pm 28.42 \text{ kg/cm}^2$); en cambio las otras localidades han presentado inferior a los anteriores (Pichacani con $133.23 \pm 29.39 \text{ kg/cm}^2$ y Laraqueri con $129.67 \pm 29.18 \text{ kg/cm}^2$), ya que estas han presentados bastantes variabilidades del medio ambiente, estas influyen en el desarrollo del concreto.

Así mismo se pudo constatar que el mayor a mayor altitud disminuye la resistencia del concreto en su estado endurecido.

Además se tuvo similares características con la prueba esclerométrico o no destructivo que permite conocer la evolución de la resistencia de una manera económica y en poco tiempo, además de conocer la homogeneidad y calidad del concreto sin deteriorar la estructura.

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI por información meteorológica necesaria proporcionado para llevar a cabo la investigación.

REFERENCIAS

- Abanto, F. (2009). **Tecnología del concreto** (Teoría y problemas) (Segunda ed). Lima, Perú: San Marcos.
- Aguirre, C., Miranda, C., & Verhasselt, A. (2001). **Memorias del Simposio Internacional sobre el Sistema del Lago del Titicaca**. La Paz, Bolivia: ANCB.
- ALT. (2014). *Características Físicas del Lago Titicaca*. Retrieved December 15, 2014, from http://www.alt-perubolivia.org/web_lago/WEB_LT/Finales/2_carac_fisicas/CARAC_2.htm#carac
- Apaza, M. E. (2004). **Solución al congelamiento del concreto en zonas altiplanicas**. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Barriga, P. (2007). **Tecnología del concreto de alto desempeño**. Lima, Perú: ASOCEM.
- Hindo, K., & Bergstrom, W. (1985). *Statistical evaluation of the in-place strength of concrete*. **Concrete International**, 7(2), 44–48.
- Mandel, J. (1984). *Fitting straight lines when both variables are subject to error*. *Journal of Quality Technology*, 16(1), 1–14.
- Mehta, K., & Monteiro, P. (1998). **Concreto, estructura, propiedades y materiales** (primera ed). México: IMCYC.
- Merchan, L., & Nuñez, E. (2015). *Concrete compression resistance by ultrasound testing via the correlation with concrete core burst test Resistencia a compresión del concreto mediante ensayo de ultrasonido a partir de la correlación con el ensayo de rotura de núcleos de concreto*. *Revista Ingeniería UC*, 22(3), 79–88.
- Pasino, O. (2003). **Apuntes de Concreto Armado I**. Lima, Perú.
- Servant, M., & Fontes, J. (1978). *Les Lacs des hauts plateaux des Andes Bolivianes*. Ser Géol. La Paz, Bolivia: ORSTOM.
- Solís, R., & Moreno, E. (2005). *Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo*. **Revista Académica de La Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán**, 9(3), 5–17.
- Solis, R., Moreno, E., & Castillo, W. (2004). *Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados*. **Ingeniería Revista Académica**, 8(2), 41–52.
- Solís, R., Moreno, E., & Vázquez, C. (2011). *Diferencias en la resistencia de concretos sujetos a curados húmedos y al ambiente en clima cálido subhúmedo*. **Concreto Y Cemento. Investigación Y Desarrollo**, 3(1), 25–35.

Speicher, R. (2007). **On the rate of convergence and Berry-Esseen type theorems for a multivariate free central limit theorem.** SBF.

Stone, W., Carino, N., & Reeve, C. (1986). *Statistical methods for in-place strength predictions by the pullout test.* In *ACI Journal Proceedings*, 83.

Villalobos, I. (1994). **Manual de Tecnología del concreto.** Distrito Federal de Mexico, México.