

Diseño óptimo para obtener concreto de alta resistencia para obras civiles en zonas altoandinas del Perú

Optimum design to get high resistance concrete for civil works in andean highest areas of Peru

JORGE EMILIANO BEDON LÓPEZ¹

RESUMEN

Tradicionalmente, en la ciudad de Huaraz, la construcción inmobiliaria tuvo una tendencia marcada hacia el uso del concreto ordinario o convencional, en razón de que las edificaciones urbanas difícilmente superaban los seis pisos. El casi nulo desarrollo vertical de las construcciones en Huaraz, conllevó a que no se utilizara el concreto de alta resistencia (CAR); pero, la estructuración y forma de desarrollo que caracteriza a los proyectos habitacionales y comerciales en actual desarrollo en dicha ciudad, resulta siendo propicio para el uso del CAR. En el contexto descrito y teniendo en cuenta la similitud con otras ciudades en términos de desarrollo inmobiliario y altitud, nos propusimos: Diseñar un tipo de concreto de alta resistencia que se ajuste a los requerimientos de las obras civiles en las zonas altoandinas del Perú. Para el logro del objetivo se diseñó un concreto convencional patrón, el cual sirvió de base para obtener concretos de mayor resistencia mediante la manipulación de materiales y agregados locales, aditivo y microsílíce. Los resultados dan cuenta que en zonas altoandinas del Perú, el CAR (91.5 Mpa a los 90 días), es factible de ser logrado con la siguiente dosificación: materiales y agregados locales, aditivo 2.3% y microsílíce 12%.

Palabras clave: concreto de alta resistencia; resistencia a la compresión; proyecto inmobiliario; zonas altoandinas.

ABSTRACT

Traditionally in Huaraz city housebuilding had a marked trend towards the use of concrete ordinary or conventional, that because urban buildings that hardly exceeded six floors. The almost zero vertical development of buildings in Huaraz, ultimately led to the high-strength concrete (CAR) was not used; but the structure and form of

¹ Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.

development that characterizes the residential and commercial projects in development current in that city, it is still suitable for use in the CAR. In the context described and are given the similarity with other cities in terms of development real estate and altitude, we set: Design a type of high-strength concrete that meets the requirements of civil works in the high Andes of Peru. To achieve the target a particular conventional pattern which served as the basis for higher strength concrete by manipulating local materials and aggregates, microsilica additive and design. The results show that in high Andean areas of Peru, the CAR (91.5 Mpa at 90 days), it is feasible to be accomplished with the following dosage: local materials and aggregates, microsilica additive 2.3% and 12%.

Keywords: high strength concrete; compressive strength; real estate project; high Andes.

ICHIKLLACHAW

Unayqa Waraschawqa wayikuna llutallam shaaritsikuyaq, tsayraykurmi huqtapiq witsaymanqa kaqtsu, tsaynaw kaptinmi alli kunkritu (CAR) nishqanta wanayaqtsu. Tsaynaw rurashqa kaykar kanan kay wayikunaqa kawakunapaqpis (taakunapaqpis), qatukunapaqpis allim (CAR) nishqanta ruranaq. Kayta rikaykurmi huk markakunachaw imanaw wayi wiñaynin kanqanraykurmi huk mushuq alli kunkrituta kamakashqa, Perupa tuna markakunachaw rurakaanapaq. Tsaypaq huk alli kunkrituta rurakashqa, kaymi allaapa alli chukru kunkritu kashqa kay kikin markallachaw ashinapaq. Kay musyapakuymi nimantsik Perupa tuna markakunachaw CAR hutishqa (91.5 Mpa 90 hunaqta) yarqushqa, tsayraykurmi allim kaywan yarqun: matiriyalwan kikin markachaw aqun yapayninwan, 2.3% yapayninwan 12% mikrusilisi.

Pushaq shimikuna: kunkritu alli tsaraynin, kallpatsashqa tsaraynin, wayi ruraynin, tunachaw karaq markakuna.

INTRODUCCIÓN

La sierra o región andina es sede de la mayoría de las capitales departamentales peruanas (13 departamentos) y dentro de esta, los gobiernos regionales cuyas sedes se asientan en las capitales departamentales (8 de 13), se encuentran ubicadas por encima de los 2 500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.); es decir, se encuentran en la denominada zona altoandina.

En la actualidad peruana el desarrollo inmobiliario en sus variantes de Proyectos Inmobiliarios Comerciales (PIC) y Proyectos Inmobiliarios Habitacionales (PIH), ya no se circunscriben, como tradicionalmente se daba, solamente al área de Lima Metropolitana; sino por el contrario, dicho desarrollo inmobiliario se ha extendido a las principales ciudades del país, principalmente a las ciudades capitales de los departamentos.

En el contexto descrito en los párrafos anteriores, se abordó un problema relacionado con la necesidad de comprobar que los concretos de alta resistencia puedan ser usados en ciudades altoandinas del Perú, como respuesta al creciente desarrollo de proyectos inmobiliarios (comerciales y habitacionales) que en los últimos años se ha venido desarrollando en las ciudades capitales de departamento.

Para efectos de diseñar un tipo de Concreto de Alta Resistencia que se ajuste a los requerimientos de las obras civiles en las zonas altoandinas del Perú, se tomó como caso referencial a la ciudad de Huaraz, capital del departamento de Ancash, y logramos demostrar que es factible usar concretos de alta resistencia en el desarrollo de obras civiles (proyectos inmobiliarios comerciales y habitacionales) de la ciudad de Huaraz con agregados provenientes de las zonas aledañas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Debido a la manipulación de las variables independientes, la investigación se caracterizó por ser experimental (Hernández, Fernández y Baptista, 2003). Para el diseño de los moldes de concreto de alta resistencia (Variable V), se ha manipulado tres variables independientes en los términos siguientes: 3 niveles para los materiales y agregados (Variable X), 4 niveles para la aplicación del aditivo (Variable Y) y 6 niveles para la dosificación del concreto (Variable Z). De acuerdo a lo señalado, el tipo de diseño de investigación es el diseño factorial 3x4x6.

La denominación de las variables independientes en términos de «X», «Y» y «Z» permitió la asignación de un estado determinado para cada uno de los niveles de las variables independientes confluyentes en la variable dependiente «V». El diseño metodológico que explica la relación entre las variables independientes y la variable dependiente, esquemáticamente quedó plasmado en la siguiente figura:

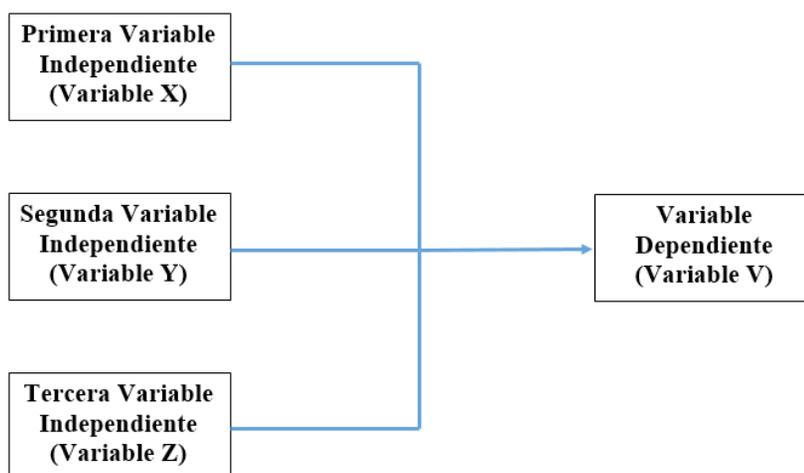


Figura 1. Relación entre las variables de investigación

La población estuvo constituida por las 8 ciudades capitales de los departamentos del Perú ubicadas en zonas altoandinas, es decir, aquellas ciudades capitales ubicadas en la serranía peruana por encima de los 2 500 msnm. Las ciudades en mención se caracterizan porque en la actualidad, en ellas, se están desarrollando proyectos inmobiliarios del tipo comercial y habitacional. De la población señalada, se tomó como muestra no probabilística e intencionada el caso de la ciudad de Huaraz.

En la ciudad de Huaraz, Región Ancash, Perú, se ha consideraron las canteras que se encuentran ubicadas en la cuenca del río Santa. La selección de la cantera tomada como muestra respondió a las características de resistencia y calidad de los agregados. Sobre la base de los criterios citados, se determinó que la cantera «Orión» brindaba las mejores bondades de resistencia para el uso óptimo en concretos de alta resistencia.

Como técnicas e instrumentos de recopilación de datos, se aplicaron respectivamente: el análisis de documentos y la ficha para el análisis de bibliografía especializada impresa existente en diversas instituciones y bibliotecas especializadas sobre diseño de concretos de alta resistencia; la observación *in situ* reportada a través de registros con fichas técnicas, fotografías y filmaciones, de las características de los materiales y ensayos para el diseño de concretos de alta resistencia; la entrevista a especialistas en el análisis y elaboración de concreto plasmado en los apuntes y notas de campo; y, el uso de los equipos de laboratorio, equipos especializados en ensayo y resistencia de materiales tales como balanza, horno eléctrico, probetas graduadas, tamices, máquina vibradora de agregados, medidores metálicos para peso unitario, barra compactadora, máquina de Los Ángeles, máquina de pruebas de compresión, mezcladora de concreto de laboratorio, tanques de curado de concreto, moldes cilíndricos de alta resistencia, conjunto portátil para prueba de asentamiento.

Otros materiales e instrumentos para la recolección de la información usados fueron los mapas para ubicación de las canteras, los planes de desarrollo para la región Ancash, los informes técnicos de obras civiles realizados en la ciudad de Huaraz.

Los instrumentos y equipos de laboratorio estuvieron sujetos a la Norma técnica peruana (NTP) y la Norma de la Asociación Americana para el Ensayo y Materiales (ASTM). En todo momento se dio cuenta a los encargados de los laboratorios del estado inicial y final de las instalaciones, máquinas, equipos e instrumentos usados; asimismo, la recolección de información teórica y de campo, así como el trabajo de gabinete, se realizó teniendo en cuenta la propiedad intelectual de las fuentes consultadas y la reserva requerida en los casos que fueron pertinentes.

RESULTADOS

Los resultados de la investigación comprende cinco aspectos: agregados, cemento, aditivo superplastificante y diseño de concreto de alta resistencia. A continuación, se detalla cada uno de ellos.

1. Agregados

Se tuvo como fuente de los agregados a la cantera «Orión» ubicada en las coordenadas geográficas: Norte 8963279.67 m., Este 215965.10 m., en el Distrito de Pariahuanca, de la Provincia de Carhuaz.

Los agregados utilizados constituyeron en promedio 65% del volumen total de la mezcla de concreto; luego, muchas de las propiedades del concreto, principalmente las mecánicas, dependieron directamente de los agregados, es decir, de las propiedades físicas de los mismos.

La determinación de las propiedades físicas de los agregados resultó siendo muy importante, en razón de que permite conocer el comportamiento del concreto elaborado con dichos agregados, además de tener en cuenta un control de calidad estricto tanto en la cantera como en el laboratorio, ya que según Huincho (2011), el concreto de alta resistencia es altamente susceptible a los cambios en su constitución.

En los ensayos, para determinar las propiedades físicas de los agregados, se tuvo en cuenta que estos se realicen para tres muestras (M-1, M-2 y M-3) de agregado fino y grueso respectivamente, tomando los valores promedios de las tres muestras como los representativos.

Tanto los pesos unitarios y específicos para los agregados fino y grueso utilizados, así como la absorción o capacidad de los agregados de atrapar las moléculas de agua en sus poros, producido por la capilaridad, fueron determinados según el INDECOPI - NTP 400.022.

El contenido de humedad en los agregados, es decir, la cantidad de agua retenida por las partículas del agregado fue determinada según el INDECOPI - NTP 400.016.

La granulometría de los agregados fue obtenida siguiendo los lineamientos para determinar los límites granulométricos que recomienda el INDECOPI - NTP 400.037.

El **módulo de finura** (MF) de los agregados fue determinado a partir de los resultados del ensayo granulométrico.

El método de abrasión Los Ángeles (L.A.) permitió determinar la resistencia al desgaste de los agregados. El coeficiente se determinó según la norma ASTM C 131.

Como síntesis de los resultados obtenidos a través de los ensayos mencionados (*supra*), en el cuadro resumen (*infra*) se presentan los valores obtenidos.

Tabla 1. Resumen de las propiedades de los agregados

Descripción	Agregado Fino	Agregado Grueso	Unidades
Cantera	Orión	Orión	
Absorción	3.34	1.21	%
Peso específico	2.58	2.65	
Peso unitario suelto	2442	2280	Lb/yd ³
Peso unitario compactado	2857	2528	Lb/yd ³
Módulo de finura	3.16	7.01	
Finos que pasan la malla N° 200	0.00	0.00	%
Tamaño Máximo	-----	1	Pulgada
Tamaño máximo nominal	-----	3/4	Pulgada
Coefficiente de desgaste de Los Ángeles = $100(P_1 - P_2)/P_1$	%	13.60	

2. Cemento

Por las prestaciones que ofrece, se optó por usar Cemento Portland Tipo I (Cementos Sol), en su presentación de bolsas de 93.70 Lb.

Tabla 2. Características físicas del Cemento Portland Tipo I – Sol

Característica física	Tipo I - Sol	Requisito ASTM C-150 NTP 334.002
Peso específico (gr/cm ³)	3.15	---
Fineza Malta 100 (%)	0.04	---
Fineza Malta 200 (%)	4.14	---
Superficie específica Blaine (cm ² /gr)	3480	Mínimo 2800
Contenido de aire (%)	9.99	Máximo 12
Expansión autoclave (%)	0.18	Máximo 0.8
Fraguado inicial Vicat (hr.min)	1.49	Mínimo 0.45
Fraguado final Vicat (hr.min)	3.29	Máximo 6.15
f'c a 3 días (kg/cm ²)	254	124 (12.4 Mpa)
f'c a 7 días (kg/cm ²)	301	193 (19.3 Mpa)
f'c a 28 días (kg/cm ²)	357	275 (27.6 Mpa)
Calor de hidratación 7 días (cal/gr)	70.6	---
Calor de hidratación 7 días (cal/gr)	84.3	---

Fuente: Información proporcionada por el fabricante.

3. Aditivo superplastificante

El aditivo usado fue el EUCO 37, proporcionado por la empresa Química Suiza Industrial del Perú S.A. EUCO 37 se presenta en forma líquida, según la NTP 334.088 y su equivalente ASTM C-494 la clasificación del aditivo fue del tipo «F» Reductores de agua de alto rango.



Figura 2. Dosificación del volumen de agua y Aditivo superplastificante EUCO 37

4. Microsílice

Como aditivo en polvo se utilizó el microsílíce. El aditivo usado fue el EUCO MICROSILICA, adquirido de la empresa Química Suiza Industrial del Perú; tiene su presentación en polvo fino de color gris; está normalizado en el Perú por la NTP 334.087 que tiene como antecedente la Norma ASTM C-1240.



Figura 3. Dosificación del Cemento y el Microsílice

5. Diseño del concreto de alta resistencia

Para el diseño del concreto se usó el Método del Peso Unitario Compactado Máximo, de donde se obtuvo la relación agregado-fino/agregado-grueso = 52/48; se empleó un contenido de cemento igual a 1062 Lb por yarda cúbica de mezcla de concreto y una relación de agua-cemento de 0.37 para obtener un asentamiento de 3.5 pulgadas.

En los ensayos de compresión para el concreto patrón, se obtuvo resistencias incrementales para diferentes días después del mezclado.

Tabla 3. Resistencia de a la compresión del concreto patrón

Mezcla	Resistencia a la compresión (Mpa)			
Edad (días) Cantera	7	14	28	90
Concreto Patrón	39.8	49.5	58.5	61.5

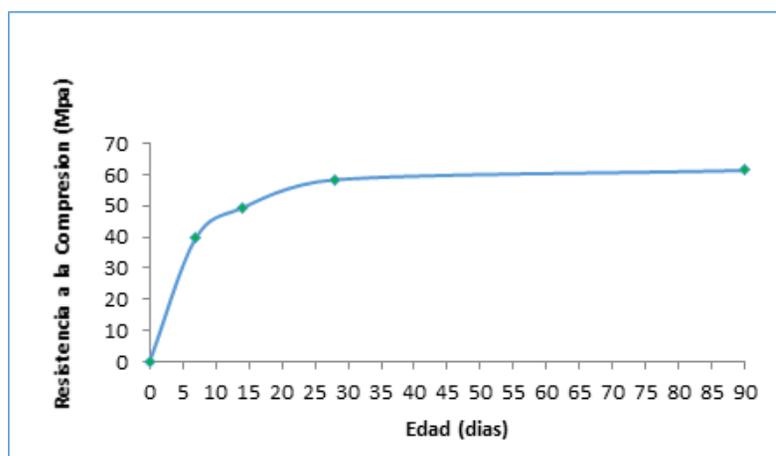


Figura 4. Variación de la Resistencia a la compresión del concreto patrón

En los ensayos de compresión para el concreto con aditivo superplastificante se obtuvo resistencias incrementales para diferentes días después del mezclado y la reducción de agua para diferentes proporciones de aditivo que se muestran en la tabla que prosigue.

Tabla 4. Resistencia de a la compresión del concreto con aditivo

Mezcla	Resistencia a la compresión (Mpa)			
Edad (días) Cantera	7	14	28	90
Concreto Patrón con aditivo	50.7	58.3	63.4	75.6

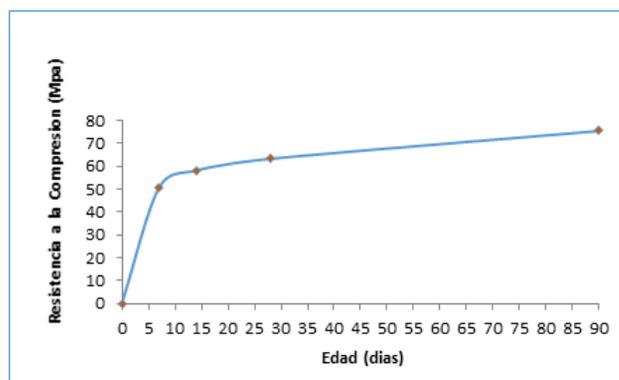


Figura 5. Variación de la Resistencia a la compresión del concreto con aditivo

En los ensayos de compresión para el concreto con microsílíce más aditivo superplastificante, se obtuvo resistencias incrementales para diferentes días después del mezclado y la reducción de agua para diferentes proporciones de microsílíce como se muestra en la tabla que prosigue.

Tabla 5. Resistencia a la compresión del concreto con aditivo más microsílíce

Mezcla	Resistencia a la compresión (Mpa)			
Edad (días) Cantera	7	14	28	90
Concreto Patrón mas microsílíce	54.3	60.8	78.4	91.5

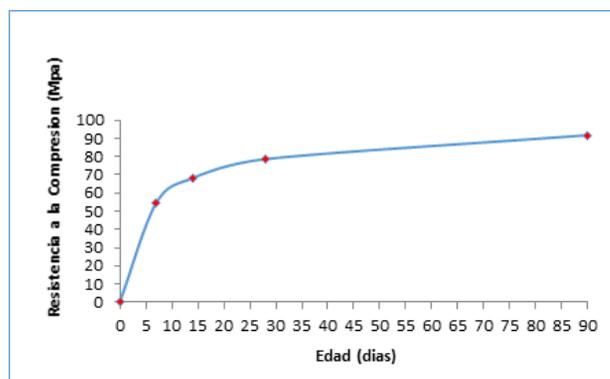


Figura 6. Variación de la Resistencia a la compresión del concreto con aditivo más microsílíce

DISCUSIÓN

En el ámbito urbano de la provincia de Huaraz (Distritos de Huaraz e Independencia) se vienen desarrollando en la actualidad diversos proyectos de infraestructura y mejora urbana. Teniendo en cuenta los Proyectos Inmobiliarios (PI) en ejecución, se tiene que

sus variantes expresadas en términos de Proyectos Inmobiliarios Habitacionales (PIH) y Proyectos Inmobiliarios Comerciales (PIC), no son ajenas a la ciudad, más bien por el contrario su incidencia es cada vez más creciente. Como consecuencia de lo acabado de señalar, se puede inferir que es factible el uso de concretos de alta resistencia en el desarrollo de obras civiles tanto en la ciudad de Huaraz como en las ciudades altoandinas capitales de departamentos, principalmente; esto debido a la cada vez mayor demanda de construcciones verticales que los proyectos inmobiliarios requieren por la escasa disponibilidad de terrenos en dichas ciudades.

El comportamiento estructural comparativo de los concretos diseñados para periodos de 7, 14, 28 y 90 días, relaciona dos a dos las resistencias de compresión de dichos concretos en los mismos periodos de tiempo.

La comparación evolutiva entre el concreto patrón y el concreto más aditivo, en términos de sus respectivas resistencias a la compresión ($f'c$), se presenta en la tabla que prosigue.

Tabla 6. Apreciación del comportamiento estructural del Concreto Patrón Vs Concreto más Aditivo

Resistencia a la compresión (Mpa)			
Período (días)	Concreto Patrón (Mpa)	Concreto más Aditivo (Mpa)	Variación (%)
7	39.8	50.7	27
14	49.5	58.3	18
28	58.5	63.4	8
90	61.5	75.6	23

Por otro lado, la comparación evolutiva entre el Concreto Patrón y el Concreto + Aditivo + Microsílice, en términos de sus respectivas resistencias a la compresión ($f'c$), se presenta en la tabla que prosigue.

Tabla 7. Apreciación del comportamiento estructural del Concreto Patrón Vs Concreto + Aditivo + Microsílice

Resistencia a la compresión ($f'c$)			
Período (días)	Concreto Patrón (Mpa)	Concreto más Aditivo + Microsílice (Mpa)	Variación (%)
7	39.8	54.3	36
14	49.5	68.0	37
28	58.5	78.4	34
90	61.5	91.5	49

Asimismo, la comparación evolutiva entre el Concreto más Aditivo y el Concreto + Aditivo + Microsílice, en términos de sus respectivas resistencias a la compresión ($f'c$), se presenta en la tabla que prosigue.

Tabla 8. Apreciación del comportamiento estructural del Concreto + Aditivo Vs Concreto + Aditivo + Microsílice

Período (días)	Resistencia a la compresión ($f'c$)		Variación (%)
	Concreto + Aditivo (Mpa)	Concreto + Aditivo + Microsílice (Mpa)	
7	50.7	54.3	9
14	58.3	68.0	19
28	63.4	78.4	28
90	75.6	91.5	26

Finalmente, de las tres tablas comparativas presentadas (*supra*) se puede distinguir los siguientes comportamientos estructurales del Concreto de Alta Resistencia (CAR) diseñado: Una tendencia creciente por período para el concreto patrón, concreto + aditivo y concreto + aditivo + microsílice; a los 90 días, el concreto de alta resistencia sobrepasa en más de dos veces el valor de la resistencia del concreto a los 7 días; a los 90 días se logra la mayor diferencia entre el concreto patrón y el concreto de alta resistencia, logrando este último ganar casi la mitad en resistencia a la compresión; a los 28 días, la diferencia es mínima entre el concreto + aditivo y el concreto patrón. Otras relaciones comparativas, pueden derivarse de la figura que prosigue.

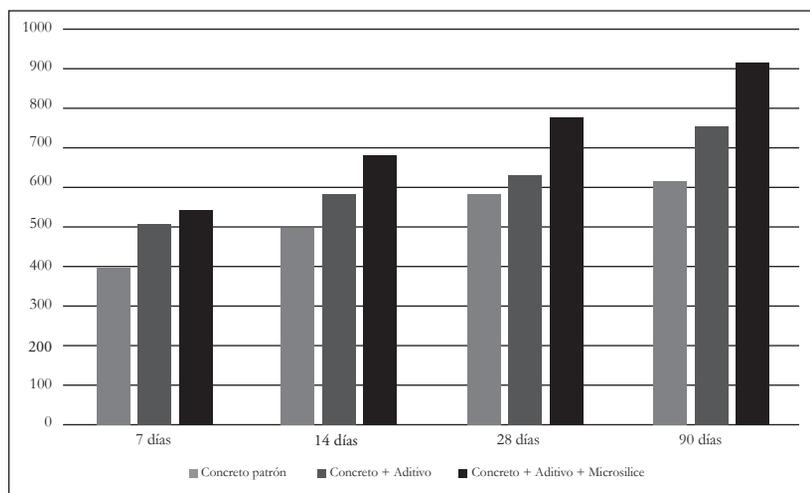


Figura 7. Variación de la Resistencia a la Compresión del concreto por período de tiempo

CONCLUSIONES

Los concretos sin adición de aditivos y microsílíce alcanzaron una resistencia a la compresión de 58.5 Mpa a los 28 días; luego, el valor tomado como resistencia a la compresión mínima a superar ($>$ a 28.0 Mpa), se supera ampliamente.

La resistencia a la compresión se incrementa conforme se usa aditivos y se adiciona microsílíce; en efecto: la resistencia del concreto patrón a los 28 días fue 58.5 Mpa (100%), el concreto patrón más aditivo (2%) 63.4 Mpa (108%), el concreto patrón con aditivo (2.3%) más microsílíce 78.4 Mpa (125%). La resistencia aumenta según se incrementa el tiempo de curado del concreto.

La dosis óptima de microsílíce encontrada es de 12%, con la cual se obtiene la máxima resistencia a la compresión de 91.5 Mpa a los 90 días.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Huincho, Edher. 2011. *Concreto de Alta Resistencia usando Aditivo Superplastificante, Microsílíce y Nanosílíce con Cemento Portland Tipo I*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

INDECOPI - NTP 400.022. 2002. *Agregados: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino*. Lima: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI.

INDECOPI - NTP 400.016. 2016. *Agregados: Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio*. 3ra. Ed. Lima: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI.

INDECOPI - NTP 400.037. 2002. *Agregados: Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto)*. 2da. Ed. Lima: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI.

Fecha de recepción: 14 de octubre de 2016

Fecha de aceptación: 15 de diciembre de 2016

Correspondencia

Jorge Emiliano Bedon López
jblingeniero@gmail.com