

INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN POR ADICIÓN DE MICROSILICE UTILIZANDO AGREGADOS LOCALES DEL RÍO PIRAI

INCREASE OF COMPRESSION RESISTANCE OF CONCRETE BY ADDITION OF MICROSILICE USING LOCAL AGGREGATES OF THE PIRAI RIVER

CARDOZO VALENZUELA J.P.

RESUMEN

La principal fuente de suministros de áridos en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra es el río Pirai, sin embargo, el árido grueso que proviene de esta fuente aluvial tiene una baja resistencia a la abrasión. La sobre explotación del río Pirai en busca de áridos de calidad genera daños al medio ambiente que pueden ser muy perjudiciales para el ecosistema. El análisis del microsilice a través de su adición al hormigón en porcentajes establecidos según la cantidad de cemento empleado, incrementará su resistencia axial a compresión. Actualmente en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra el incremento en la demanda en el rubro de la construcción genera solicitudes de hormigones de mayor resistencia, los cuales deben ser elaborados dando el mayor aprovechamiento posible a los agregados locales extraídos del río. Con el objetivo de determinar del incremento de la resistencia a compresión del hormigón mediante la adición de microsilice utilizando agregados locales. Se realizó la caracterización de los materiales que conforman el hormigón como ser los áridos finos, áridos gruesos con tamaño máximo de 1 in y ½ in, el cemento de la marca Warnes con índice de puzolana de IP30 e IP40 y el microsilice de la marca Roka, según normas ASTM, AASHTO y hojas técnicas de los productos usados. Posteriormente, se dosificó y preparó hormigones patrones según norma ACI 211-1, con diferentes porcentajes de adición de microsilice, en el momento de preparar el hormigón se utilizó un aditivo fluidificante (MR-500) de la empresa Química Suiza, para dar mayor trabajabilidad a la mezcla de concreto debido a que se necesita un bajo nivel de asentamiento de la mezcla en el ensayo del cono de Abrams. Los ensayos de compresión de probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, según la norma ASTM C-39, variando la resistencia mediante la incorporación de diferentes porcentajes de microsilice según el peso del cemento. Se obtuvieron elevadas resistencias a compresión del hormigón a los 28 días de edad, con la adición de microsilice de 10% a 30% variando la resistencia de 388 a 520 kg/cm². De los cuales se realizó el análisis de datos mediante regresión lineal por el método de los mínimos cuadrados, donde se obtuvieron ecuaciones logarítmicas, las cuales son las que mejor se adaptaron a los resultados y el comportamiento ascendente de la curva de resistencia del hormigón.

PALABRAS CLAVE

Resistencia, Dosificación, Hormigón, Microsilice, Agregados.

ABSTRACT

The main source of aggregate supplies in the city of Santa Cruz de la Sierra is the Pirai River, however, the coarse aggregate that comes from this alluvial source has a low resistance to abrasion. Overexploitation of the Pirai river in search of quality aggregates generates damage to the environment that can be very damaging to the ecosystem. The analysis of the microsilice through its addition to the concrete in percentages established according to the quantity of cement used, will increase its axial compression resistance. Currently in the city of Santa Cruz de la Sierra the increase in demand in the construction sector generates requests for more resistant concretes, which must be made giving the best possible use to the local aggregates extracted from the river. In order to determine the increase in the compressive strength of the concrete by adding microsilice using local aggregates. The materials that make up the concrete were characterized, such as fine aggregates, coarse aggregates with a maximum size of 1 in and ½ in, Warnes brand cement with a pozzolana index of IP30 and IP40 and the Roka brand microsilice, according to ASTM, AASHTO standards and technical sheets of the used products. Subsequently, standard concretes were metered and prepared according to ACI 211-1 standard, with different percentages of microsilice addition, at the time of preparing the concrete a fluidizing additive (MR-500) from the Swiss Chemical company was used, to give greater workability to the concrete mix because a low level of settling of the mix is required in the Abrams cone test. Compression tests of cylindrical specimens 15 cm in diameter by 30 cm in height, according to ASTM C-39, varying the resistance by incorporating different percentages of microsilice according to the weight of the cement. High compressive strengths of the concrete were obtained at 28 days of age, with the addition of microsilice from 10% to 30%, varying the resistance from 388 to 520 k/cm². From which the data analysis was performed by linear regression using the least squares method, where logarithmic equations were obtained, which are the ones that best adapted to the results and to the upward behavior of the concrete resistance curve.

KEYWORDS

Strength, Dosage, Concrete, Microsilice, Aggregates.

INTRODUCCIÓN

En nuestro medio el principal elemento de construcción es el hormigón, debido a que el costo de este anteriormente mencionado comparado con el acero como elemento de soporte estructural es considerablemente menor, por lo cual la utilización de áridos es de vital importancia al ser estos elementos esenciales para el hormigón.

La principal fuente de suministros de áridos en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra es el Río Piraí, sin embargo, el árido grueso que proviene del Río tiene una baja resistencia a la abrasión, lo que influye de manera desfavorable en el momento de trabajar con hormigones que requieran un mayor grado de resistencia a la compresión, generando el uso de mayores volúmenes de áridos o en otro caso la obtención de agregados de bancos de préstamos lejanos incrementando el presupuesto en la obra.

La sobre explotación del Río Piraí en busca de áridos de calidad, lo cual genera daños al medio ambiente que pueden ser muy perjudiciales para el ecosistema, así también a los municipios circundantes al río.

La Ley de Áridos número 3425 promulgada en 2006 obliga a las municipalidades a regular la explotación de áridos (arena) y agregados (piedras), que se encuentran en los lechos de los ríos y en las cuencas comprendidas en sus territorios municipales.

Al utilizar microsilice como método para aumentar la resistencia del hormigón no habrá un daño ambiental adicional a lo que ocurre actualmente en la extracción de agregados del Río Piraí, sin embargo, al ser un método que aumenta la resistencia se dará un mayor aprovechamiento de los áridos empleados en la construcción, Roka microsilice es una carga mineral en polvo basado en la tecnología sílice fume de Sika. Contiene partículas reactivas de dióxido de sílice extremadamente finas (0,1 µm). La presencia de Roka microsilice otorga una gran cohesión interna y retención de agua, permitiendo una mayor estabilidad de la mezcla fresca.

En el hormigón endurecido la reactividad latente de la microsilice forma enlaces químicos con la cal libre del cemento, produciendo una matriz mucho más densa, resistente e impermeable. No contiene cloruros ni otras sustancias dañinas para el hormigón.

Uso y Aplicación de Roka microsilice: Hormigón de alta resistencia, Hormigón proyectado vía seca y húmeda, Hormigón de alta demanda en calidad, Estructuras en ambientes agresivos, Hormigón bombeado, Pavimentos y estructuras de alta resistencia al desgaste, Morteros y lechadas de inyección, Hormigón bajo agua, La dosificación varía entre 10% y el 30% del peso de cemento. Características de Roka microsilice: Excelente trabajabilidad, Alta cohesión y mínima exudación, Incremento de la durabilidad, Alta resistencia inicial, Alta resistencia final, Alta resistencia a la abrasión, Mayor protección contra la corrosión, Color: Polvo Gris, 95% aproximado de SiO₂, Gravedad específica de 2.2 l/kg.

El microsilice debe ser agregado a la mezcladora junto con el cemento y ser mezclado con un tiempo mínimo de 90 segundos.

La cantidad de agua debe ser regulada según la cantidad de superfluidificante y la consistencia final requerida.

El tamaño promedio de partícula está por debajo de 0.5 micras, lo que significa que cada micro esfera es 100 veces más pequeña que un grano de cemento promedio. En una mezcla típica, con dosificación de 10% de micro sílice, habrá entre 50000 y 100000 partículas de micro sílice por grano de cemento. La calidad de las materias primas y la operación de los hornos determinan la pureza del microsilice.

Para mejorar la trabajabilidad se utiliza el Superfluidificante MR 500 por estar disponible en nuestro medio del cual se obtuvieron buenos resultados. NEOPLAST MR- 500 es un aditivo líquido reductor de agua de rango medio, diseñado para climas cálidos y templados ayudando a mejorar el mantenimiento del asentamiento por un largo periodo.

El NEOPLAST MR-500 puede ser empleado como plastificante o superplastificante dependiendo la dosis empleada.

Sus aplicaciones principales: concretos bombeables, concreto premezclado, concreto colocados en climas cálidos y templados, cuando se requiere transportar el concreto a largas distancias.

Los beneficios que brinda son: permite obtener una reducción de agua hasta un 25%, mejora la cohesión y reduce la segregación, mejora la textura, facilita el bombeo y colocación del concreto a distancias largas, proporciona una mediana y alta fluidez, dependiendo la dosis empleada, reduce la exudación y contracción del concreto, mejora de permeabilidad y durabilidad, proporciona un fraguado controlado. Información técnica: Densidad: 1.183 ± 0.01g/ml, pH: 7.82 ± 0.5, líquido, color marrón oscuro.

MATERIALES Y MÉTODOS

REACTIVOS

Roka Air Microsilice (Roka)
Neoplast MR 500(Química Suiza)

MATERIALES

Cemento Warnes IP30 e IP40 (Indice de Puzolana).
Agregados finos y gruesos del Río Piraí (Porongo, Limoncito),
Acopiadora Dracruz.

EQUIPOS

Prensa hidráulica de probetas de hormigón manual, marca JDBlab-admet.
Prensa hidráulica electrónica 4000 kN semi-automatic, Cyberplus evolution de la marca MATEST.
Hormigonera de tambor de la marca MATEST de 125 litros, 230V, 50 Hz, 0,3 HP.

MÉTODOS

Siguiendo las normas del Manual de Ensayos de Suelos y Materiales-Hormigón ABC se realizaron los siguientes ensayos para:

El Cemento

Consistencia Normal del Cemento, norma H0210.
 Ensayo de Finura del Cemento, norma ASTM C-184.
 Ensayo de peso unitario compactado del Cemento, norma ASTM C-138 - ASSHTO - T180 D.
 Ensayo de tiempo de fraguado del Cemento hidráulico por el método del aparato Vicat, norma H0205.
 Ensayo de Peso Específico del Cemento Hidráulico, norma H0207.

Los Áridos Finos

Ensayo de contenido de agua(humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado, norma ASTM C-566, S0301.
 Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado, norma ASTM D-422, AASHTO T-88, S0302
 Ensayo de finura por el método de la malla 200, norma AASHTO T 11.
 Ensayo de la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos, norma ASTM C-128, AASHTO T-84, H0110.
 Ensayo para determinar el Equivalente de Arena, norma ASTM D-2419, AASHTO T-176, s0308.

Los Áridos Gruesos

Ensayo para contenido total de Agua de los Áridos por Secado (S0301), norma ASTM C-566, S0301
 Ensayo Análisis Granulométrico por Tamizado, norma ASTM D-422, AASHTO T-88, S0302.
 Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en Áridos Gruesos, norma ASTM C-127, AASHTO T-85, H0109.
 Ensayo de Desgaste mediante la Máquina de los Ángeles, norma ASTM C-131, AASHTO T-96, h0111.

Dosificación ACI

El método que se utiliza para la dosificación de los ensayos de hormigones en el presente trabajo es el método ACI, para la dosificación de hormigones normales el cual consiste en utilizar tablas empíricas respaldada por ensayos y años de experiencia, que se acondicionan a las características del material para una mezcla adecuada, norma ACI 211.1.

Ensayo de Resistencia

Ensayos a rotura por compresión axial, norma ASTM C-39. Se emplearon moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de longitud, 2 probetas para cada edad. Los cilindros se llenaron con un hormigón en capas, tres, de igual volumen aproximadamente, se desencofraron durante a las 24 horas y se sumergieron en agua y almacenaron. Después los días curado se ensayaron las probetas según la norma citada.

Tratamiento de datos

Los datos obtenidos se ajustó la curva de tendencia logarítmica empleando para ello regresión lineal por el método de los mínimos cuadrados, obteniendo ecuaciones logarítmicas, mediante curvas de tendencia se emplea el programa (Excel).

RESULTADOS

La tabla 1 detalla las características de los agregados utilizados.

Tabla 1. Características de los agregados utilizados provenientes del Río Pirai

ENSAYO:	MATERIAL	TAMAÑO 1 in.	TAMAÑO ½ in
Peso específico kg/m ³ (ASTM C 127 - AASHTO T 185)	Grava	2680	2720
Peso unitario suelto gr/cm ³ (ASTM 30 - ASTM 29)	Grava	1.560	1.590
Peso unitario varillado gr/cm ³ (ASTM 30 - ASTM 29)	Grava	1,640	1,680
Absorción% (ASTM C 127 - AASHTO T 185)	Grava	2,88	2,88
Tamiz 200% (ASTM C 117 - AASHTO T 11)	Grava	0,46	0,40
Peso específico kg/m ³ (ASTM C 128 - AASHTO T 84)	Arena	2550	2550
Peso unitario suelto gr/cm ³ (ASTM 30 - ASTM 29)	Arena	1,200	1,200
Peso unitario varillado gr/cm ³ (ASTM 30 - ASTM 29)	Arena	1,324	1,324
Absorción% (ASTM C 566 - AASHTO T 184)	Arena	2,15	2,15
Módulo de fineza	Arena	2,85	2,85
Tamiz 200% (ASTM C 117 - AASHTO T 11)	Arena	2,45	2,45

INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN POR ADICIÓN DE MICROSILICE UTILIZANDO AGREGADOS LOCALES DEL RÍO PIRAI

En las tablas 2, 3 4 y 5 se detalla las dosificaciones bases a las cuales se les adicionara el microsilice en diversos porcentajes según el peso del cemento, es decir la cantidad utilizada en la dosificación.

Tabla 2. Dosificación con cemento de IP30 con MR 500

Material	kg	Volumen m ³	Bolsa 50 kg	Proporción
Cemento (kg/m ³)	360	0,151	7,2	1
Agua (l/m ³)	175	0,074	3,5	0,486
Arena (kg/m ³)	720,48	0,303	14,4	2,001
Grava (kg/m ³)	1125,06	0,473	22,5	3,125
Aditivo MR 500 (l/m ³)	0,85	-	-	-
A/C	0,5	-	-	-

Tabla 3. Dosificación con cemento de IP40, hormigón H25, con MR 500

Material	kg	Volumen m ³	Bolsa 50 kg	Proporción
Cemento (kg/m ³)	400	0,172	8	1
Agua (l/m ³)	196,74	0,084	3,9348	0,492
Arena (kg/m ³)	787,812	0,338	15,8	1,970
Grava (kg/m ³)	943,984	0,405	18,9	2,360
Aditivo MR 500 (l/m ³)	0,9	-	-	-
A/C	0,5	-	-	-

Tabla 4. Dosificación con Cemento IP40, hormigón H30, con MR 500.

Material	kg	Volumen m ³	Bolsa 50 kg	Proporción
Cemento (kg/m ³)	450	0,193	9	1
Agua (l/m ³)	196,447	0,084	3,93	0,437
Arena (kg/m ³)	816,062	0,349	16,3	1,813
Grava (kg/m ³)	872,968	0,374	17,5	1,940
Aditivo MR 500 (l/m ³)	0,9	-	-	-
A/C	0,445	-	-	-

La tabla 5 muestra la incorporación de microsilice en la mezcla sin variar la cantidad inicial del cemento, es decir, la cantidad de microsilice que se incorpore se debe sustituir por la misma cantidad de cemento sin variar el volumen inicial dosificado, el mismo método aplicado a los otros porcentajes de adición analizados.

Tabla 5. Dosificación IP40 con 10% de microsilice

Material	kg	Volumen m ³	Bolsa 50 kg	Proporción
Cemento (kg/m ³)	450	0,193	9	1
Agua (l/m ³)	196,447	0,084	3,93	0,437
Arena (kg/m ³)	816,062	0,349	16,3	1,813
Grava (kg/m ³)	872,968	0,374	17,5	1,940
Aditivo MR 500 (l/m ³)	1	-	-	-
A/C	0,445	-	-	-
Microsilice (kg/m ³)	45	0,019	0,9	0,10
Cemento corregido (kg/m ³)	405	0,173	8,1	0,90

La tabla 6 muestra la resistencia promedio después de los 28 días de todos los hormigones preparados.

Tabla 6. Resistencia promedio a 28 días de edad.

TIPO DE HORMIGÓN	RESISTENCIA kg/cm ²
HORMIGÓN H25-IP30	244,250
HORMIGÓN H25-IP40	383,589
+ 10% MICROSILICE	421,948
+ 15% MICROSILICE	441,427
+ 20% MICROSILICE	460,307
+ 30% MICROSILICE	516,550
HORMIGÓN H30-IP40	414,276
+ 10% MICROSILICE	455,704
+ 15% MICROSILICE	476,418
+ 20% MICROSILICE	497,131
+ 30% MICROSILICE	538,559

La tabla 7 muestra las ecuaciones logarítmicas obtenidas para los diferentes hormigones preparados con porcentaje de adición de microsilice.

Tabla 7. Ecuaciones logarítmicas y Grado de confiabilidad

DATOS	Y	R ²
IP30	33,837ln(x) + 63,543	0,9625
IP40	60,425ln(x) + 130,33	0,9644
IP40 + 10% de microsilice	65,212ln(x) + 140,23	0,9609
IP40+ 15% de microsilice	71,374ln(x) + 154,58	0,9579
IP40+ 20% de microsilice	77,403ln(x) +168,61	0,9711
IP40+ 30% de microsilice	88,769ln(x) + 192,81	0,9605

Y=Ecuación logarítmica

R²=Grado de correlación (R²>0,9, correlación excelente)

x= edad de la probeta (días)

Y= resistencia a compresión (kg/m³)

Los datos se utilizan para determinar la curva de tendencia logarítmica que mejor se ajusta a los datos, para ello se emplea el programa (Excel) aplicando la opción de curvas de tendencia, y determinar la función que mejor se ajuste a los datos de tendencia

de la resistencia del hormigón obteniendo una ecuación logarítmica.

E:

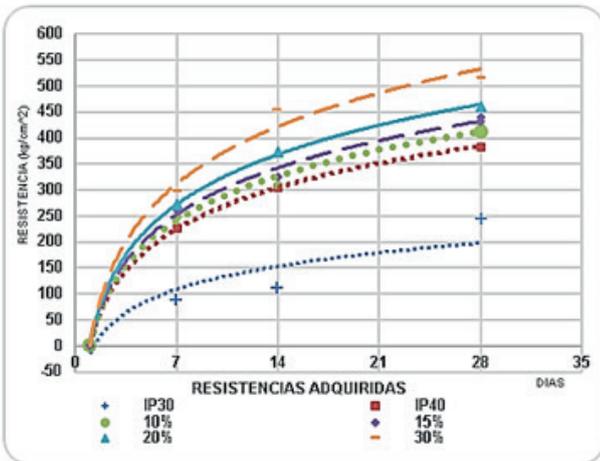


Fig. 1. Tendencias logarítmicas de la resistencia del hormigón con adición de microsilice.

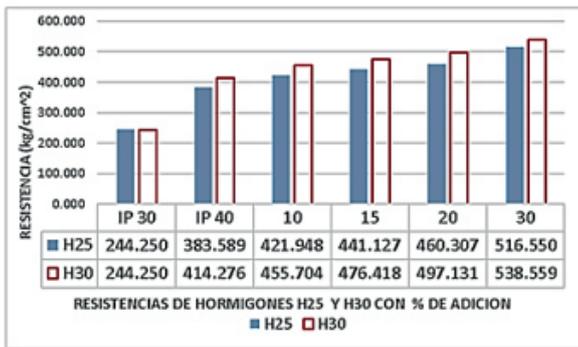


Fig. 2. Comparación de resistencias promedio de hormigones patrones H25 y H30.

DISCUSIÓN

A través de la caracterización de los materiales (grava y arena) y las adiciones (cemento, microsilice y fluidificante) mediante ensayos y fichas técnicas se establecen las propiedades de

los mismos para realizar las dosificaciones según norma ACI, obteniendo las resistencias de los hormigones con los diferentes porcentajes de adición de microsilice a los cuales se les realizó el análisis de precios unitarios individual.

El agregado fino o arena empleado en la campaña experimental se encuentra dentro de los valores admitidos según las especificaciones de cada norma.

El agregado grueso óptimo utilizado es de grava de 1 in, chancada de 1/2 in, también se conoce que su desgaste por abrasión se encuentra en 42 % de material chancado, variando con un 2% según la especificación de la norma de desgaste de los ángeles. Los mejores resultados de resistencia obteniendo fueron con el agregado grueso de tamaño de 1/2 in.

Relación agua cemento A/C de 0,45, cantidad de cemento de 360-450 Kg/m³ según dosificación de hormigón.

Asentamiento del ensayo de cono de Abrams de 2 in. El análisis experimental fue realizado exitosamente, partiendo de un hormigón H25 y H30 e incrementando el porcentaje de microsilice en +10%, +15%, +20%, y +30%. Se le dio trabajabilidad a la mezcla a través del fluidificante Neoplast MR500.

Se caracteriza el microsilice de la empresa ROKA. Que tiene un 95% de grado de pureza y el fluidificante Neoplast MR500, así como también sus propiedades físicas y químicas establecido en la ficha técnica.

La rotura de probetas fue realizada a los 7, 14 y 28 días, se logró determinar líneas de tendencia, se obtuvieron elevadas resistencias a compresión del hormigón con el uso de microsilice de 10% a 30% variando la resistencia de 388 a 520 kg/cm²

Morales y Barzola (2000), realizaron un trabajo similar utilizando: Humo de sílice con 98.38 % de SiO₂. Determinaron la Resistencia a la Compresión en las edades de 42, 90, 180, 360 días. La relación agua cemento A/C igual a 0.36, la cantidad de cemento 600 Kg/m³ de concreto y una dosificación de 10 al 15% de microsilice. Las resistencias reportadas fueron en promedio 1000 1100 Kg/cm², a los 42 días.

Las elevadas resistencias obtenidas de los hormigones pueden ser aplicadas a las industrias de elementos prefabricados como la elaboración de viguetas pretensadas y puentes donde necesita producir hormigones de elevadas resistencias en un tiempo relativamente corto.

REFERENCIAS

ACI 211.1, Diseño de mezclas de hormigón, NORMA ACI (“American Concrete Institute”- “Instituto Americano del Concreto”).
 CIP 33, Concreto de Alta Resistencia, NRMCA (“National Ready Mixed concrete Association”- “Asociación Nacional de Hormigón Mixto”).
 DEL CASTILLO, Sanz, Principales Compuestos Químicos, Editorial UNED, 2015.
 DEVORE, Jay L., Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias, Editorial CENGAGE Learning, 7ma Edición 2007.
 HOJA TÉCNICA, Neoplast MR -500, Química Suiza Ltda. 2012.
 HOJA TÉCNICA, Roka Air Microsilice, Roka Ltda. 2012
 MEGAESTRUCTURAS, Torres Petronas, Documental, National Geographic, 2015.
 MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA (MMA y A), Guía Técnica para el aprovechamiento de Áridos en Cauces de Ríos y Afluentes.
 MORALES y BARZOLA, Investigación del Concreto de Alta Resistencia: Metodología de obtención y determinación de las Propiedades de los Concretos, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú, 2000.
 NEVILLE M, Tecnología del hormigón, instituto mexicano del cemento y el concreto C.A. editorial Trillas, edición I, 1999.
 NORMAS AASHTO para hormigones (“American Association of State Highway and Transportation Officials”- “Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes”).
 NORMAS ASTM, Normas ASTM Para Hormigones (“American Society of Testing Materials”- “Asociación Americana de Ensayo de Materiales”).
 RIVVA L., Enrique, Concretos de alta resistencia, Congreso internacional de la construcción, 2002.

CITA

