

PROPIEDADES DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DEL HORMIGÓN H-21 MEDIANTE ADICIÓN DE AZUFRE

COMPRESSION AND FLEXURE STRENGTH PROPERTIES OF H-21 CONCRETE THROUGH THE ADDITION OF SULFUR

CRESPO HINOJOSA, G. F., SOLIZ SALVATIERRA, B. F.

RESUMEN

La hipótesis planteada de que el azufre a través de su adición al hormigón incrementa su resistencia a compresión y flexión. En la actualidad en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra se ha incrementado en la demanda constructiva genera solicitudes de hormigones con mayor resistencia, los cuales deben ser elaborados dando el mayor aprovechamiento posible a los agregados locales extraídos del río Piraí. El objetivo general es el incrementar las propiedades de resistencia a compresión y flexión del hormigón H-21 mediante la adición de azufre. Para lograr lo anteriormente descrito, se realizó los ensayos caracterización de los elementos que conforman el hormigón como ser los agregados grueso y fino, el cemento según normas ASTM, AASHTO y manual de laboratorio. Posteriormente, se dosificó y preparó hormigones patrones según norma ACI 211-1, con diferentes porcentajes de adición 0,5%, 1,0%, 1,5% de azufre. Seguidamente, se realizó los ensayos de compresión de probetas cilíndricas y flexión de probetas prismáticas según la norma ASTM C-39, variando la resistencia mediante la incorporación de azufre en diferentes porcentajes según el peso del cemento. También se realizó el análisis de los resultados de rotura a compresión y flexión, obteniendo curvas de tendencia, las cuales se adaptan mejor a la curva de resistencia de hormigón y a los resultados obtenidos.

PALABRAS CLAVE

Resistencia a Compresión,
Resistencia a Flexión,
Hormigón H-21,
Azufre.

ABSTRACT

The hypothesis raised is that sulfur, through its addition to concrete, increases its resistance to compression and bending. Currently, in the city of Santa Cruz de la Sierra, there has been an increase in construction demand, generating requests for concrete with greater resistance, which must be produced making the greatest possible use of the local aggregates extracted from the Piraí River. The general objective is to increase the compressive and flexural strength properties of H-21 concrete by adding sulfur. To achieve the above described, characterization tests were carried out on the elements that make up concrete such as coarse and fine aggregates, cement according to ASTM, AASHTO standards and laboratory manual. Subsequently, standard concrete was dosed and prepared according to ACI 211-1 standard, with different addition percentages of 0.5%, 1.0%, 1.5% of sulfur. Next, compression tests on cylindrical specimens and bending tests on prismatic specimens were carried out according to the ASTM C-39 standard, varying the resistance by incorporating sulfur in different percentages depending on the weight of the cement. The analysis of the results of compression and flexural failure was also carried out, obtaining trend curves, which better adapt to the concrete resistance curve and the results obtained.

KEYWORDS

Nematodes,
Biopesticides,
Trichoderma Spp.,
Bacillus Thuringiensis,
Diatomaceous Earth,
Chard Beta vulgaris var. cicla

INTRODUCCIÓN

El punto más crítico hoy en día es la capacidad y durabilidad del hormigón, por eso se verificará que el empleo de azufre (Palacios Ávila, 2013) como adición logra optimizar las propiedades mecánicas del hormigón, mejorando la resistencia a compresión y flexión del hormigón H-21. La finalidad de esta investigación es diseñar una mezcla de hormigón la cual pueda ser utilizada en muros de contención, elementos de mampostería como ser los ladrillos de hormigón y pisos.

Las adiciones de materiales, de origen natural o artificial, cuya incorporación en las mezclas de hormigón permite alcanzar mejoras en sus propiedades de resistencia y durabilidad. La incorporación de adiciones minerales en el concreto, no es una tecnología reciente.

La primera mega estructura en utilizar hormigón mejorado con adiciones minerales fueron las Torres Petronas, situadas en Kuala Lumpu, capital de Malasia Fueron los 2 edificios más altos del mundo entre 1998 y 2003, siendo actualmente el undécimo edificio más alto del mundo y las torres gemelas de hormigón más altas del mundo. Estas torres cuentan con una altura de 452 metros, con 88 pisos de hormigón armado, acero y vidrio, siendo el símbolo de Kuala Lumpur y Malasia.

Para su construcción se desarrolló un nuevo método de construcción: un rascacielos normal se monta sobre un armazón de acero, construido de vigas que sostienen el peso del edificio. El acero hizo posible la construcción del primer rascacielos en el mundo, siendo inmensamente fuerte pero con una ligera flexibilidad, algo que necesitan los edificios altos. En ese tiempo Malasia no tenía un presupuesto elevado para importar acero, pero tenía concreto en grandes cantidades. Era el único modo en que las torres Petronas se podrían construir, no solo sería el edificio más alto sino también se usaría un material no probado antes a esa escala. En lugar de un armazón de acero para sostener el edificio, las torres Petronas utilizarían un aro de hormigón de 16 pilares unidos por vigas, debiendo sostener entre ellas 270000 toneladas.

El hormigón convencional se desintegraría por el peso de las torres, por lo que los ingenieros necesitaban desarrollar un nuevo concreto que resistiera alrededor de 3600 kg/cm². Probando aditivos como el silicio se redujeron las burbujas de aire en el concreto, hecho éste que lo hizo más fuerte. Como las torres serían el doble de pesadas que si fueran de acero se utilizaron pilotes de 120 metros de profundidad, los más profundos en el mundo hasta ese momento. (Mega construcciones, documental de las torres Petronas, National Geographic).

Bolivia cuenta con abundantes recursos minerales no metálicos, tal es el caso del azufre, cuyos yacimientos se encuentran localizados en la zona limítrofe del departamento de Potosí con el país vecino Chile, donde la Cooperativa "Unión Progreso" Ltda., viene produciendo azufre elemental hace más de 50 años; sin embargo, es necesario pasar de la actividad extractiva a la transformación, agregando valor a los productos. Una de las alternativas para este propósito es la transformación de azufre elemental en azufre humectable.

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 proveniente del Río tiene una baja resistencia a la abrasión, lo que influye de manera desfavorable al 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

MÉTODOS Y MATERIALES

CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS QUE CONFORMAN EL HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS SEGÚN NORMATIVA DE REFERENCIA

Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C136, AASHTO T27).

Método para determinar la densidad aparente (ASTM E30, ASTM C29).

Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos y Gruesos (ASTM C127, AASHTO T85).

Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C131, AASHTO T96).

Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D 2419).

ENSAYOS AL CEMENTO

Peso específico del cemento hidráulico (ASTM C 188).
Consistencia normal del cemento (ASTM C 187).

DETERMINACION DE LA DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN SEGÚN LA NORMA ACI 211

Dosificación de hormigón patrón.
Elección del revenimiento o asentamiento.
Requerimiento Aproximado de Agua.
Relación agua/cemento según la Resistencia a Compresión del hormigón.
Contenido de cemento.
Volumen del Agregado Grueso por unidad de volumen del Hormigón.
Método para determinar la docilidad mediante el cono de Abrams.
Dosificación final para hormigón H- 21.

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN MEDIANTE ENSAYOS A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

Método de ensayo a la compresión de probetas cilíndricas (ASTM C39).
Método de ensayo a la flexión de probetas prismáticas (ASTM C 78).

RESULTADOS

Tabla 1. Granulometría del agregado grueso

Tamices		
ASTM, in	mm	% que pasa
2½	63,00	100,00
2	50,00	100,00
1½	37,50	100,00
1	25,00	94,68
¾	19,00	75,08
½	12,50	43,93
⅜	9,50	27,09
Nº4	4,75	7,10
Nº 8	2,36	0,00

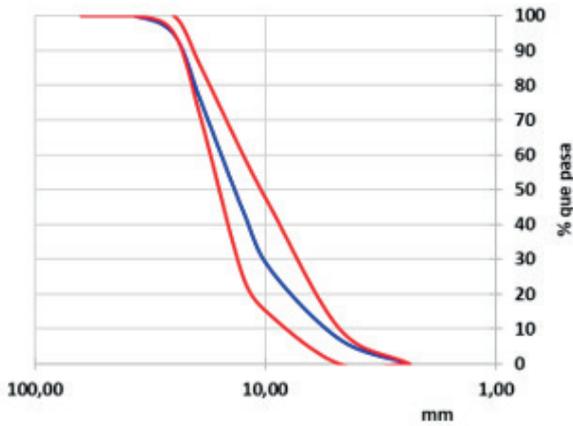


Figura 1. Curva granulométrica del agregado grueso

Tabla 2 Granulometría del agregado fino

Tamices ASTM, in	mm	% que pasa
3/8	9,50	100,00
Nº4	4,75	100,00
Nº 8	2,36	100,00
Nº 16	1,18	94,68
Nº 30	0,60	75,08
Nº 50	0,3	43,93
Nº 100	0,15	27,09

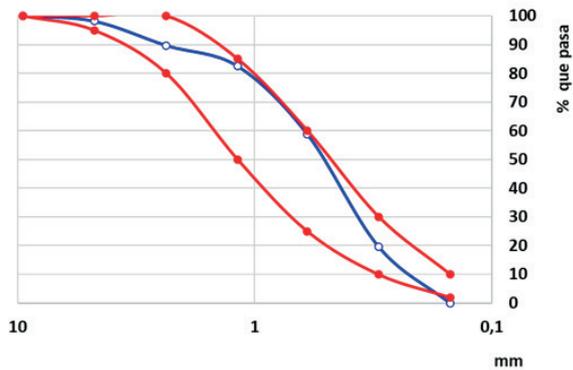


Figura 2. Curva de granulometría del agregado fino

Tabla 3 Densidad aparente del agregado grueso

	Peso unitario suelto, kg/m ³
Suelto	1536,504
Compactado	1671.087
Densidad aparente del agregado fino	
	Peso unitario suelto, kg/m ³
Suelto	1536,504
Compactado	1671.087

Tabla 4. densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos y gruesos

	Árido Grueso	Árido Fino
Densidad real saturada superficialmente seca, kg/m ³ , ρRT	3858,66	2650,81
Densidad real seca, kg/m ³ , ρRs	3803,42	2626,40
Densidad neta, kg/m ³ , ρN	4025,81	2697,34
Absorción de agua, %, α	1,45	1,04

El desgaste mediante la Máquina de los Ángeles fue de 30,27 %. El equivalente de arena de 81,76 %.

El peso específico del cemento hidráulico a 25 °C es 3,11 g/cm³. La finura del cemento es del 25,6 %.

Se eligió el asentamiento para vigas, muros y muros de hormigón armado.

Requerimiento Aproximado de Agua: 195 kg.

Relación agua/cemento según la Resistencia a Compresión del hormigón: 0,63.

Contenido de cemento: 310 kg.

Cantidad del Agregado Grueso por unidad de volumen del Hormigón: 1169,76 kg

Cantidad del Agregado Fino por unidad de volumen del Hormigón: 700,24 kg.

Tabla 5 Dosificación final para hormigón H- 21.

	Patrón	Cantidad kg		
		Azufre 0,5 %	Azufre 1,0 %	Azufre 1,5 %
Azufre	0,0	2,0	3,1	5,0
Cemento	310,0	308,0	306,9	305,0
Arena	700,24	700,24	700,24	700,24
Grava	1169,76	1169,76	1169,76	1169,76
Agua	195	195	195	195

Tabla 6 Asentamientos registrados para las diferentes dosificaciones.

Dosificación	Asentamiento, cm
Hormigón H21 Patrón	7
Hormigón H21 con 0,5 % de azufre	6
Hormigón H21 con 1,0 % de azufre	5
Hormigón H21 con 1,5 % de azufre	5

Tabla 7. Ensayos de compresión de probetas cilíndricas del hormigón Patrón y las diversas dosificaciones, MPa

Edad, días	Patrón	Azufre 0,5 %	Azufre 1,0 %	Azufre 1,5 %
7	13,368	14,355	19,175	17,535
14	18,440	18,544	22,860	21,327
28	21,193	23,267	29,130	26,822

Tabla 8. Ensayos de rupturas a flexión de probetas del hormigón Patrón y las diversas dosificaciones, MPa

Edad, días	Patrón	Azufre 0,5 %	Azufre 1,0 %	Azufre 1,5 %
7	2,227	2,290	2,335	2,312
14	2,572	2,661	2,785	2,691
28	2,939	2,983	3,011	2,967

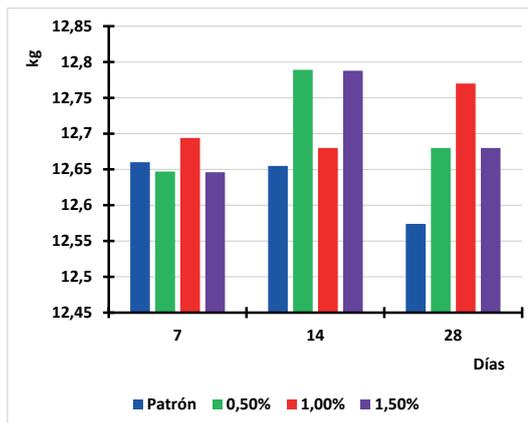


Figura 13. Comparación de peso unitarios a compresión

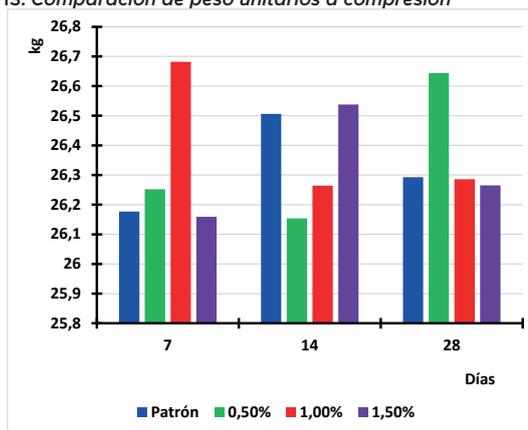


Figura 14. Comparación de peso unitario a flexión

Una vez reunida la información y analizando los resultados, se pudo observar que la adición de azufre en porcentajes de 0.5 %, 1,0 %, 1,5 % mejora las propiedades de resistencia al hormigón convencional, siendo el 1% de adición de azufre el más óptimo para la resistencia a compresión y flexión.

Se realizó un diseño de mezclas con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la valoración fue a los 28 días de fraguado del hormigón logrando una resistencia promedio de $f'c = 291,32 \text{ kg/cm}^2$ con adición de azufre del 1%, por otro lado, la proporción de 0,5% logro $f'c = 232,52 \text{ kg/cm}^2$ así también con 1,5% logrando $f'c = 268,22 \text{ kg/cm}^2$.

CONCLUSIONES

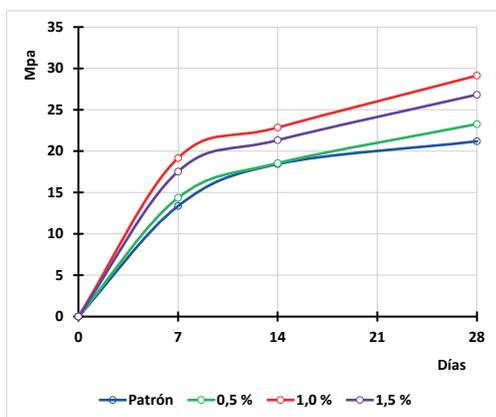


Figura 11. Línea de tendencia resistencia a la compresión vs tiempo

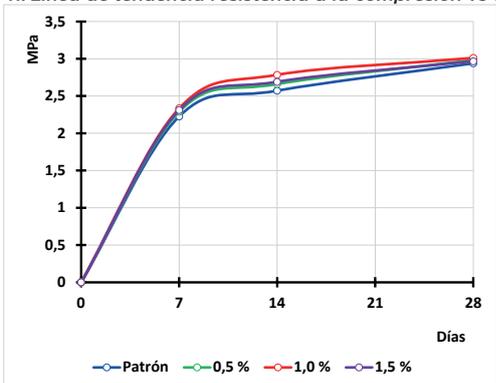


Figura 12. Línea de tendencia resistencia de flexión vs tiempo

REFERENCIAS

(ACI211.1-91) AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.
 ALAVAREZ, P. P. (2008). DURABILIDAD DEL HORMIGÓN CON FIBRAS DE POLIPROPILENO. ESPAÑA: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA. ARQUITECTURA Y EMPRESA. (2017). ARQUITECTURA SOSTENIBLE. RETRIEVED FROM [HTTPS://ARQUITECTURAYEMPRESA.ES/NOTICIA/FIBRA-DE-YUTE-COMO-MATERIAL-DE-CONSTRUCCION](https://arquitecturayempresa.es/noticia/fibra-de-yute-como-material-de-construccion)
 ARQUITECTURA-SOSTENIBLE
 ROBERT E., LOOV, ALAN H., VROOM Y MICHAEL A.,WARD. SULFUR CONCRETE-A NEW CONSTRUCTION MATERIAL. PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE [EN LÍNEA].1974 VOL.19, N.P 86-95. [FECHA DE CONSULTA: 14 DE MARZO DE 2022]. DISPONIBLE EN: [HTTPS://BIT.LY/3KUCCU4](https://bit.ly/3KUCCU4)
 PAYNE, C. R., DUECKER, W. W., "CHEMICAL RESISTANCE OF SULPHUR CEMENTS", TRANSACTIONS OF THE AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, VOL. 36, NO. 1 FEBRERO 25 DE 1940, PAG. 91-111.
 ABDEL MOHSEN, MOHAMED, EL GAMAL, MAISA, SULFUR CONCRETE FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY: A SUSTAINABLE DEVELOPMENT APPROACH, [EN LÍNEA]. J. ROSS PUBLISHING; ILLUSTRATED EDICIÓN 1 JULIO 2010, [FECHA DE CONSULTA: 20 DE MARZO DE 2022]. ISBN: 9781604270051 DISPONIBLE EN: [HTTPS://BIT.LY/3TJMBLN](https://bit.ly/3TJMBLN)

CITA

