






Desempenho da adição de cinza de bagaço de cana como filler para a produção de concreto autoadensável

J. A. Zea¹ , A. López^{1*} , D. Hernández¹ , J. E. Mandujano¹ , J. A. Cabrera¹ 

* Autor de Contato: alexander.lopez@unach.mx

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i1.642>

Recibido: 28/10/2022 | Correções recebidas: 19/12/2022 | Aceito: 21/12/2022 | Publicado: 01/01/2023

RESUMO

Foi avaliado o desempenho da influência da cinza do bagaço de cana (CBC) como filler em traços de concreto autoadensável (CAA), adicionada de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e 25% em relação ao peso de cimento. A caracterização das cinzas foi realizada por FTIR, FRX e XRD. As propriedades de trabalhabilidade do CAA foram determinadas por espalhamento, anel J, caixa L, funil V, Índice de Estabilidade Visual e ensaios de resistência à compressão. De acordo com os resultados, as porcentagens de 10 a 20% nos traços de CAA obtiveram um desempenho satisfatório, evidenciando excelentes parâmetros de trabalhabilidade e resistência à compressão em comparação a trabalhos semelhantes já publicados na literatura.

Palavras-chave: autoadensável; cinza; agronegócio; adição; espalhamento; concreto.

Citar como: Zea, J. A., López, A., Hernández, D., Mandujano, J. E., Cabrera, J. A. (2023), “Desempenho de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autocompactantes”, Revista ALCONPAT, 13 (1), pp. 80 – 96, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i1.642>

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Contribuição de cada autor

n este trabajo el autor J. A. Zea contribuyó con el diseño de la investigación y la realización de los ensayos en laboratorio (50%), la redacción del texto (50%), análisis y discusión de los resultados (30%) y revisión (30%). El autor A. López contribuyó con el diseño de la investigación y la realización de los ensayos en laboratorio (20%), la redacción del texto (30%), análisis y discusión de los resultados (30%) y revisión (30%). El autor D. Hernández contribuyó con la redacción del texto (10%), análisis y discusión de los resultados (20%) y revisión (10%). El autor J. E. Mandujano contribuyó con el diseño de la investigación y la realización de los ensayos en laboratorio (20%), análisis y discusión de los resultados (10%). El autor J. A. Cabrera contribuyó con el diseño de la investigación y la realización de los ensayos en laboratorio (10%), la redacción del texto (10%), análisis y discusión de los resultados (10%) y revisión (30%).

Licença Creative Commons

Copyright (2023) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no terceiro número do ano 2023, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do segundo número do ano de 2023.

Performance of the addition of cane bagasse ash as a filler to produce self-compacting concrete.

ABSTRACT

The performance of the influence of cane bagasse ash (CBC) as filler in self-compacting concrete mixtures (CAC), added in a 0%, 5%, 10%, 15%, 20% and 25% with respect to weight of cement was evaluated. Ash characterization was performed by FTIR, FRX and XRD. The workability properties of CAC were determined by slump flow, J-ring, L-box, V-funnel, Visual Stability Index, and compressive strength tests. According to the results, the percentages of 10 to 20% in the CAC mixtures obtained a satisfactory performance, evidencing outstanding workability and compressive strength parameters compared to works similar to those published in the literature.

Keywords: self-compacting; ash; agroindustrial; addition; filler; concrete.

Desempeño de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autocompactantes.

RESUMEN

Se evaluó el desempeño de la influencia de la ceniza de bagazo de caña (CBC) como filler en mezclas de concreto autocompactante (CAC), adicionado en un 0%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% con respecto al peso de cemento. La caracterización de la ceniza se realizó mediante FTIR, FRX y DRX. Las propiedades de trabajabilidad del CAC fueron determinadas mediante ensayos de flujo de asentamiento, anillo J, caja en L, embudo V, Índice de Estabilidad Visual y resistencia a la compresión. De acuerdo con los resultados, los porcentajes de 10 al 20% en las mezclas de CAC obtuvieron un desempeño satisfactorio, evidenciando parámetros de trabajabilidad y resistencia a la compresión sobresalientes comparados con trabajos similares a los publicados en la literatura.

Palabras clave: autocompactante; ceniza; agroindustrial; adición; filler; concreto

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

A gestão ambiental e a promoção do desenvolvimento sustentável são cada vez mais comuns nos últimos anos, a conscientização coletiva vem aumentando em relação aos potenciais problemas gerados pelo impacto da indústria da construção civil na deterioração do meio ambiente. Em termos gerais, a construção não é uma atividade amiga do ambiente, uma vez que gera efeitos no solo, esgotamento dos recursos naturais, geração de resíduos e várias formas de poluição como as emissões antrópicas de CO₂ (Silva, et al., 2015).

Não se pode negar o papel que o cimento desempenhou na história da humanidade, principalmente o cimento Portland, criado no início do século XIX, que evoluiu e se industrializou conforme os tempos, demonstrando que seria o material mais utilizado no século 20. Porém, nas últimas décadas, alguns questionamentos têm sido levantados sobre a utilização desse material, associado ao seu alto custo e ao impacto ambiental gerado por sua produção e uso extensivo. Também é notável o aumento da produção de cimento que os países do terceiro mundo experimentaram nas últimas décadas (Águila & Sosa, 2008).

A indústria de cimento mexicana é a segunda maior da América Latina, com capacidade instalada de cerca de 64 milhões de toneladas e produção total de pouco menos de 40 milhões em 2019 (S&P Global, 2020). O problema da produção de cimento é que em seu processo de fabricação gera grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂), para cada tonelada de Cimento Portland Composto (CPC) produzido, 30% são emitidos para a atmosfera (Méndez, 2008).

A indústria de produção de cimento é um dos maiores setores industriais emissores de CO₂, responsável por 5% a 8% das emissões. A produção de cimento aumentou de 2,1 bilhões de toneladas em 2004 para 4,65 bilhões de toneladas em 2016. Em sua fabricação, aproximadamente metade das emissões de CO₂ provêm da combustão de combustíveis fósseis, enquanto o restante é emitido pela calcinação do calcário. As emissões também dependem das características de produção, localização geográfica, tecnologia, eficiência de produção, seleção de combustíveis para o forno e combinação de fontes de energia utilizadas na geração de eletricidade (León & Guillén, 2020).

O elevado consumo de recursos naturais, energia e emissões de CO₂ e outros poluentes (Cachán, 2001) comprometem as possibilidades futuras de utilização deste maravilhoso material de construção. Para atenuar esta situação, está sendo feito um trabalho para reduzir o seu impacto ambiental, de duas formas; 1) melhorar a eficiência dos processos produtivos na fábrica, de forma a reduzir o consumo de energia e 2) otimizar o consumo de cimento (Águila & Sosa, 2008).

Este trabalho insere-se no segundo caminho apoiado nos inúmeros estudos e avanços que a tecnologia do concreto tem sofrido nas últimas décadas, potenciados pela utilização de equipamentos modernos para visualização e avaliação de materiais finos como o cimento (Martirena, et al., 1997) e o surgimento de poderosos aditivos químicos, adições minerais, adições naturais e materiais alternativos que ampliaram consideravelmente as possibilidades de reduzir a proporção de cimento no traço sem afetar e até melhorar as propriedades do concreto (Mehta, 2000; Nasvik, 2006).

Atualmente, estão a ser envidados esforços para implementar estratégias de controle e regulamentação da fiscalização de subprodutos, resíduos industriais de forma a preservar o ambiente. Porém, em um dos setores industriais como o agroindustrial, a solução alternativa para os resíduos gerados é a incineração, onde o problema da redução de volume é parcialmente resolvido, mas outros problemas são gerados pelas partículas dispersas no meio ambiente.

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas em diversos países e sua produção total é estimada em mais de 1,5 bilhão de toneladas (Dharanidharan, et al., 2015). No México há uma produção nacional de aproximadamente 56 milhões de toneladas (SIAP, 2018).

A indústria açucareira é composta por 54 usinas, distribuídas em 15 estados e 267 municípios do México. Particularmente, o estado de Chiapas ocupa o 5º lugar nacional em produção, o que representa 5,5% do total aportado (SIAP, 2018), e existem duas usinas: "Belisario Domínguez e Pujiltic" localizadas nos municípios de Huixtla e Venustiano Carranza, respectivamente, onde a geração de resíduos nas unidades produtivas constitui uma das principais fontes de poluição desta indústria, além do descarte de esgotos e das emissões de gases e partículas finas na atmosfera.

A utilização de algumas cinzas de resíduos agrícolas confere vantagens ao concreto tanto no estado fresco como no estado endurecido, bem como melhora a sua durabilidade. Entre as vantagens adicionais de seu uso está a redução dos custos de produção (otimização do uso do cimento) e a redução dos problemas ambientais associados ao manuseio e disposição final (dos resíduos agroindustriais). Nesta perspectiva, estudou-se a capacidade de utilização e a influência da adição como filler do CBC na elaboração de CAA no estado fresco e endurecido (Jiménez, 2013).

O CAA representa um desenvolvimento revolucionário das últimas décadas no campo da construção em concreto. Pode ser definido como aquele material com capacidade de fluir e compactar sob o seu próprio peso, tendo a capacidade de preencher completamente uma fôrma, mesmo na presença de uma armadura densa, sem necessidade de qualquer vibração, mantendo a homogeneidade e a consistência. É caracterizado por propriedades no estado fresco, tais como: fluidez (fluidez limitada), resistência à segregação (estabilidade) e sua capacidade de enchimento (fluidez ilimitada) (Okamura e Ouchi, 2003). Também apresenta a característica de ser caro, devido ao alto teor de cimento, o que significa uma desvantagem quando se leva em consideração o efeito ambiental. Esta situação leva ao uso de materiais finos como substitutos, sendo as cinzas volantes, sílica ativa, escória de alto-forno, pozolanas naturais e calcário fino os mais comuns. A utilização desses materiais pode reduzir custos e proporcionar desempenho adicional ao CAA (Silva, et al., 2015).

As investigações de Sinde, et al. (2016), Petermann, e et al. (2018) e Hien Le, et al. (2018), determinaram que adições de CBC, com características de um material pozolânico, permitem otimizar o consumo de cimento. Da mesma forma, podem afetar as características e propriedades físicas do CAA. No entanto, eles também podem ter um efeito adverso nas resistências mecânicas do CAA com CBC em comparação com o CAA sem o subproduto industrial. Por isso, foi avaliado o desempenho do uso do CBC como filler nos traços de CAA no estado fresco e endurecido para verificar se ele representa uma opção de aproveitamento do resíduo, contribuindo assim para a mitigação de seu acúmulo no meio ambiente.

2. METODOLOGIA

Os materiais componentes do concreto e do CBC foram caracterizados de acordo com as normas vigentes. Foram realizados ensaios preliminares em concreto sem e com CBC, para conhecer a trabalhabilidade do concreto autoadensável, e posteriormente foram definidas as proporções para elaboração dos traços definitivas utilizadas para avaliação do desempenho do CBC. Realizado através de ensaios de concreto autoadensável (EFNARC, 2002) e resistência à compressão.

2.1 Dosagens necessárias

2.1.1 Caracterização dos materiais

As cinzas utilizadas para este projeto de pesquisa foram obtidas da usina de açúcar Pujiltic, Chiapas. Para sua utilização, foram realizados ensaios de caracterização química FTIR, FRX e DRX, que permitiram conhecer a composição mineralógica do material e sua possibilidade de ser pozolânico.

A caracterização dos agregados graúdos e miúdos foi realizada de acordo com as especificações da Norma ASTM C33 (2018). Foram utilizados materiais pétreos da região, que correspondem à areia do rio Santo Domingo do tipo quartzo, com módulo de finura de 2,80, absorção de 6,73% e densidade de 2,97. Para o agregado graúdo foi utilizado cascalho britado ½" do tipo basalto e andesita, com densidade de 2,87, absorção de 2,69%, peso volumétrico seco e compacto de 1488 kg/m³ e umidade de 0,89%. O referido banco está localizado a sudoeste da cidade de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. O cimento utilizado corresponde a um tipo II, CPC 30R RS da marca Cruz Azul.

O aditivo utilizado para este projeto de pesquisa foi o MasterGlenium 3200, que é um aditivo redutor de água de alto grau e classificado como aditivo tipo F, que segundo a norma ASTM C494 (2020) é classificado como superplastificante, pois permite a redução de água em mais de 12% para certas consistências.

2.1.2 Projeto experimental

Sete tipos de traços de concreto foram feitos de acordo com a Norma ACI-211.4R (2008): um traço de controle (CC-0%) que serviu de referência para o projeto e outro traço de concreto com aditivo fluidificante (CF-0%) com o qual foi avaliado o comportamento e desempenho do CAA; os 5 traços restantes continham diferentes percentagens de CBC em relação ao peso do cimento: 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, (tabela 1). Foram utilizados agregado graúdo com tamanho máximo de 12,7 mm (1/2") e agregado miúdo de areia de rio. Todos os traços foram dimensionados de acordo com o método de volume absoluto do American Concrete Institute (ACI) (ACI-211.1., 2002), para o qual foram consideradas as relações água/cimento descritas na tabela 1.



Figura 1. Preenchimento dos cilindros com concreto autoadensável.

Tabela 1. Dosagem dos traços de concreto.

Dosagem do traço	Relação a/c*	Água (kg/m ³)	Cimento (kg/m ³)	Cinza de bagaço de cana (kg/m ³)	Agregado miúdo (kg/m ³)	Agregado graúdo (kg/m ³)	Superplastificante (% por peso do cimento)
CC-0% CBC	0,50	190,00	380,00	---	830,00	845,00	---
CF-0% CBC	0,50	190,00	380,00	---	830,00	845,00	2,00
CAA-5% CBC	0,48	190,00	380,00	19,00	830,00	845,00	2,00
CAA-10% CBC	0,45	190,00	380,00	38,00	830,00	845,00	2,00
CAA-15% CBC	0,43	190,00	380,00	57,00	830,00	845,00	2,00
CAA-20% CBC	0,42	190,00	380,00	76,00	830,00	845,00	2,00
CAA-25% CBC	0,40	190,00	380,00	95,00	830,00	845,00	2,00

CC= Concreto de Controle, CF= Concreto Fluido, CAA= Concreto Autoadensável, CBC= Cinza de Bagaço de Cana
Relação a/c a c* é a soma da quantidade de cimento usado + a CBC*

2.1.3 Preparação dos corpos de prova

Um total de 196 corpos de prova cilíndricos de 150 mm x 300 mm foram fabricados. Os corpos de prova foram recobertos por 24 h e posteriormente curados por imersão em solução saturada de hidróxido de cálcio, permanecendo nesta condição até a data do ensaio conforme ASTM C31 (2008).

Tabela 2. Características dos corpos de prova e tempos de ensaio para ensaios mecânicos.

Ensaio	Descrição	Idade do teste (dias)	Número de Cilindros
Resistência à compressão	Cilindros: 150mm Ø x 300mm	7, 14, 28, 56, 90, 180, 360	196



Figura 2. Preparação de cilindros para testes

Neste processo foi utilizado um misturador com capacidade para um saco de cimento, capacidade de mistura de 255 l e volume de 350 l. O tempo total de mistura foi de 7 minutos. Vale ressaltar que de acordo com as quantidades de mistura foi necessário fazer duas misturas de concreto simultâneas.

2.1.4 Caracterização dos traços no estado fresco

Os diversos traços foram preparados de acordo com o EFNARC (2002) “Especificações e orientações para concreto autoadensável – HAC”. Foram utilizados testes de fluxo de espalhamento, fluxo de espalhamento T_{50cm} , anel J, caixa L, funil V, funil V em $T_{5minutos}$ (EFNARC, 2002) e o Índice de Estabilidade Visual (VSI) (ASTM C1611, 2018).



Figura 3. Caracterização do traço no estado fresco para avaliação dos parâmetros elementares de trabalhabilidade de um CAA.

2.1.5 Caracterização dos traços no estado endurecido

Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a norma ASTM C39 (2004). No total, foram utilizados 196 corpos de prova cilíndricos para 7 tipos de traços, dos quais 4 tubos de ensaio de cada amostra foram testados nas idades de 7, 14, 28, 56, 90, 180 e 360 dias.



Figura 4. Sequência de testes de resistência à compressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Composição química de CBC e cimento por FTIR

A técnica FTIR permite a análise qualitativa de amostras orgânicas e inorgânicas, sendo utilizada em testes de controle de qualidade e/ou necessidades de pesquisa. A Figura 5 mostra o espectro FTIR de cinza de bagaço de cana (CBC) e cimento Portland. A análise foi realizada no infravermelho médio na zona vibracional de 4000 a 600 cm^{-1} .

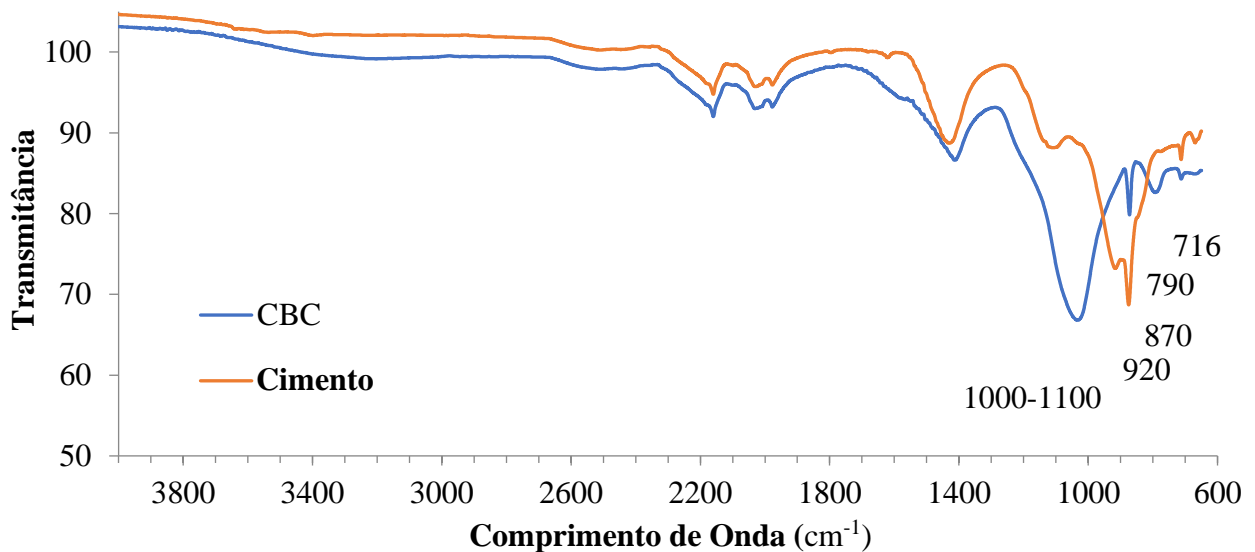


Figura 5. Espectro FTIR comparativo de CBC e CPC 30R

No espectro FTIR do CBC mostrado na figura 5, pode ser observada uma banda em 1108 cm^{-1} correspondente à Sílica (O-Si-O) (Sócrates, 2004). Enquanto nas regiões próximas a 1042 cm^{-1} foi possível detectar os sinais correspondentes ao Si-O (Castaldelli, et al., 2016) e nos comprimentos de onda de 1472 e 870 cm^{-1} foi relacionado à presença de carbonatos (O-C-O) (Castaldelli, et al., 2016). Da mesma forma, para o valor de 870 cm^{-1} foi associado à presença de SiOH, e a 716 cm^{-1} para K_2O (Castaldelli, et al., 2016). Com esta técnica foi possível obter uma aproximação da composição química da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, mostrando os compostos principalmente SiO_2 e carbonatos, o que permitiu uma análise pela técnica de DRX.

3.2 Caracterização química de cimento e CBC por FRX

A caracterização elemental das cinzas e do cimento foi realizada por fluorescência de raios X. Para isso, preparou-se um comprimido com 15 g da amostra (cinzas peneiradas com malha nº 200 e cimento), com 0,6 g de gel compactador. É colocado em um pulverizador de anel por um tempo padrão estipulado pelo laboratório. Após a pulverização da amostra, 6,6 g de cada amostra são pesados e passados para uma prensa para formar o pellet, que é analisado no equipamento de fluorescência de raios X Philips MagixPro PW-2440. A técnica de FRX baseia-se em bombardear a amostra com raios X (primários), estes excitam os átomos, que, ao retornarem ao seu estado inicial, emitem raios X (radiação secundária) de determinados comprimentos de onda expressos em porcentagem de massa/massa.

A Tabela 3 mostra as composições químicas da CBC e do cimento determinadas pela técnica de fluorescência de raios X (FRX). Foi possível determinar que os compostos com maior presença no CBC são SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 atingindo um valor total de 56,8%. De acordo com a norma ASTM C618 (2019), a soma das composições de SiO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 deve ser igual ou superior a 70% para as pozolanas das classes N e F. Embora as pozolanas da classe C sejam consideradas 50% ou mais dos referidos componentes, sendo esta a possível classificação das cinzas utilizadas neste projeto.

Outras investigações relatadas na literatura chegaram a valores superiores a 70% dos compostos de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , para o CBC (Rincón e Romero, 2010). Além disso, quando o CBC apresenta alto teor de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), é classificado como uma cinza classe F, o que representa uma boa atividade pozolânica e permite que seja utilizado como substituto parcial do cimento Portland (Camargo, 2014). No entanto, o CBC utilizado neste projeto apresentou

baixíssimo teor de alumina (Al_2O_3) e alto teor de CaO , conforme pode ser observado na tabela 3, que é considerado como tendo propriedades pozolânicas reduzidas devido ao teor de seus componentes.

Tabela 3. Características químicas de CBC e CPC 30R.

Características (%)	CBC	Cimento
SiO_2	55,1	24,3
Al_2O_3	0,7	4,3
Fe_2O_3	1,0	3,0
CaO	39,7	58,8
MgO	1,1	1,4
K_2O	0,8	0,7
Na_2O	0,9	0,8

Acredita-se que, devido ao procedimento de queima utilizado na usina de açúcar, para eliminar seus resíduos de bagaço de cana, a perda ao fogo de amostras de CBC pode ser alta, pois o vento dispersa as cinzas e a hidratação das partículas de cinza quando expostas a intempéries, além do fato de que durante seu transporte costuma ser contaminado com amostras do substrato onde é depositado. Vale ressaltar que o processo de queima é realizado em lixão a céu aberto com temperaturas entre 500 e 800 °C.

3.3 Composição mineralógica

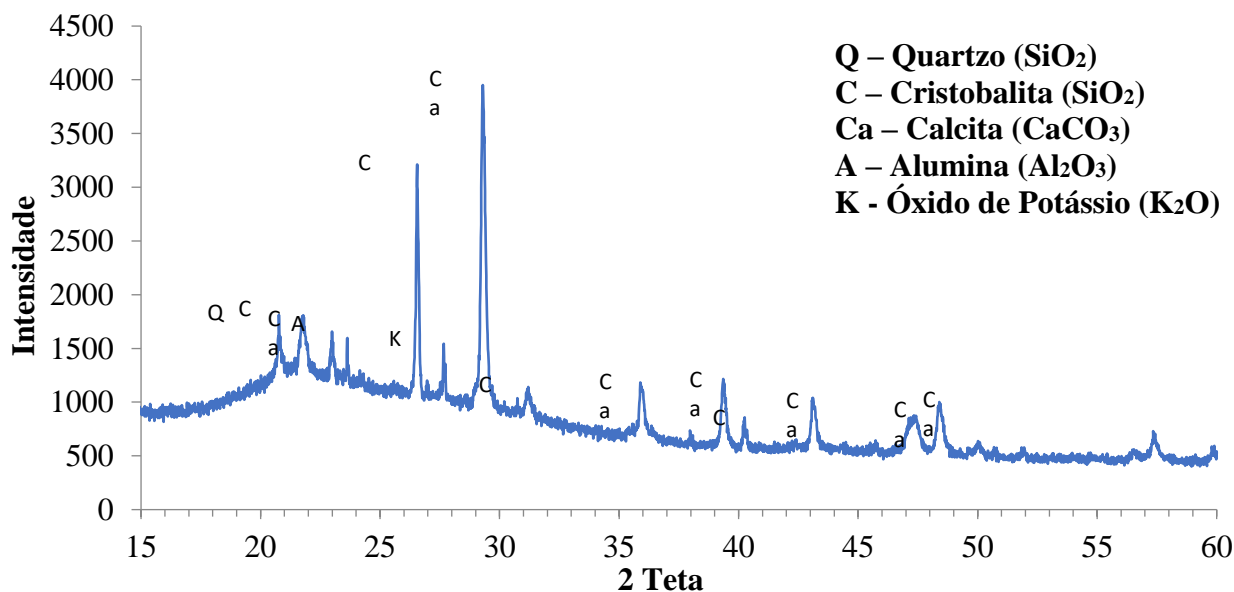


Figura 6. Difratograma obtido na região.

A composição mineralógica do CBC foi determinada pela técnica de Difração de Raios X (DRX), utilizando equipamento da marca BRUKER, com velocidade de varredura de 5°/min e passo de 0,020 graus. A figura 6 mostra o espectro de DRX, onde pode-se observar que o CBC apresenta características amorfas devido à elevação da linha de base entre 15 e 35 (2θ); Tal comportamento faz com que o CBC possa apresentar alguma atividade pozolânica reduzida, podendo ser utilizado em certa medida como material adicional ao cimento Portland (Martirena, et al., 1998).

3.4 Ensaio do CAA em estado fresco

Os resultados obtidos nos ensaios efetuados às misturas de CAA no estado fresco são apresentados nas tabelas seguintes (4, 5, 6, 7 e 8). A tabela 4 mostra os resultados do diâmetro (D_f) do fluxo de espalhamento e do tempo (T_{50cm}) obtidos no ensaio dos diferentes traços. Os diâmetros D_1 e D_2 foram medidos na extensão circular do traço de concreto, em direções perpendiculares entre si. De acordo com os resultados obtidos, determinou-se que as misturas com adições de CBC a 10%, 15% e 20% apresentaram melhor desempenho de fluidez, pois os fluxos de recalque e tempo estavam de acordo com as especificações da EFNARC (2002).

Tabela 4. Resumo do teste de fluxo de espalhamento e teste T_{50cm}

Traço	D_1 (cm)	D_2 (cm)	D_f (cm)	Fluxo espalhamento pelo cone de Abrams (EFNARC, S., 2002)	T_{50} (s)	Fluxo espalhamento T_{50cm} (EFNARC, S., 2002)
Concreto de Controle	---	---	---		---	
Concreto Fluido	57,0	59,0	58,0		9,21	
CAA - 5% CBC	45,0	46,0	45,5	Mínimo: 65 cm Máximo: 80 cm	10,23	Mínimo: 2 segundos Máximo: 5 segundos
CAA - 10% CBC	69,0	69,0	69,0		2,90	
CAA - 15% CBC	69,0	71,0	70,0		3,22	
CAA - 20% CBC	68,0	68,0	68,0		3,74	
CAA - 25% CBC	69,0	70,0	69,5		4,27	

A Tabela 5 apresenta os resultados do ensaio de extensão com o anel J. Os dados apresentados correspondem aos diâmetros perpendiculares (D_1 e D_2) da extensão da circunferência de concreto e sua média (D_f); as alturas medidas no interior (H_1) e no exterior (H_2) do anel J, bem como as espessuras interna e externa (A_1 e A_2) do espalhamento do traço de concreto. Esses resultados mostram que o traço com 20% de CBC obteve o melhor desempenho para esse teste.

Tabela 5. Resumo do ensaio do anel J

Traço	D_1 (cm)	D_2 (cm)	D_f (cm)	H_1 (Interior) (cm)	H_2 (Exterior) (cm)	A_1 (cm)	A_2 (cm)	Diferença de alturas (cm)	Diferença de alturas (EFNARC, S., 2002)
Concreto de Controle	---	---	---	---	---	---	---	---	
Concreto Fluido	52,0	54,0	53,0	8,0	11,0	4,0	1,0	3,0	
CAA - 5% CBC	48,0	51,0	49,5	8,0	11,0	4,0	1,0	3,0	Mínimo: 0 cm Máximo: 1,0 cm
CAA - 10% CBC	64,0	65,0	64,5	8,0	10,0	4,0	2,0	2,0	
CAA - 15% CBC	47,0	47,0	47,0	8,5	11,0	3,5	1,0	2,5	
CAA - 20% CBC	59,0	57,0	58,0	10,0	11,0	2,0	1,0	1,0	
CAA - 25% CBC	69,0	68,0	68,5	9,5	11,0	2,5	1,0	1,5	

Os resultados do tempo de escoamento (T) e das alturas (H_1 e H_2) obtidos a partir do ensaio da caixa L são apresentados na tabela 6, neste ensaio buscou-se avaliar o desempenho da fluidez do concreto através de um tipo L cofragem e sua capacidade de auto nivelamento. De acordo com a relação H_2/H_1 , foi possível determinar que os traços de concreto com 10%, 20% e 25% de CBC apresentaram melhor comportamento, sendo as duas últimas as de melhor desempenho.

Tabela 6. Resumo do ensaio caixa L

Traço	T ₆₀ (s)	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	H ₂ /H ₁	Relação H ₂ /H ₁ (EFNARC, S., 2002)
Concreto de Controle	---	---	---	---	Mínimo: 0,8 Máximo: 1,0
Concreto Fluido	42,2	23,5	11,5	0,49	
CAA - 5% CBC	103,1	---	---	---	
CAA - 10% CBC	21,2	10,0	8,5	0,85	
CAA - 15% CBC	11,4	12,5	9,5	0,76	
CAA - 20% CBC	8,6	9,0	8,0	0,89	
CAA - 25% CBC	4,2	9,0	8,0	0,89	

A tabela 7 apresenta os resultados de tempo de escoamento e vazão em 5 minutos (T_{5minutos}), obtidos pelo teste do funil V. A maioria dos resultados de tempo de escoamento obtidos para cada traço de concreto ficaram dentro dos limites especificados pela EFNARC (2002). Da mesma forma, foi possível determinar que os traços de concreto com 20% e 25% CBC apresentaram valores de tempo de escoamento menores, ficando próximos ao mínimo de referência de 6 segundos. Para o teste de funil V aos T_{5minutos}, avaliou-se a resistência à segregação do concreto, de modo que após o repouso de 5 min, os traços de concreto ficaram dentro da faixa aceitável, porém, apenas os traços de 10%, 15%, 20% e 25% atendem aos 2 critérios deste ensaio.

Tabela 7. Resumo do ensaio funil V e funil V em T_{5minutos}

Traço	Tempo de fluxo	Funil V (EFNARC, S., 2002)	Tempo de fluxo T _{5minutos} (s)	Funil V a T _{5minutos} (EFNARC, S., 2002)
Concreto de Controle	---	Mínimo: 6 segundos Máximo: 12 segundos	---	Mínimo: 0 segundos Máximo: +3 segundos
Concreto Fluido	13,8		3,4	
CAA - 5% CBC	12,5		1,8	
CAA - 10% CBC	9,7		3,0	
CAA - 15% CBC	11,1		1,2	
CAA - 20% CBC	8,7		2,8	
CAA - 25% CBC	6,5		2,7	

Tabela 8. Resumo do Índice de Estabilidade Visual

Traço	Valor	Valores para avaliação do VSI (ASTM C1611, 2018)
Concreto de Controle	---	<ul style="list-style-type: none"> • Estável. Sem segregação = 0 • Pouca exsudação, sem segregação = 1 • Leve auréola de argamassa (<1 cm). Exsudação notável= 2 • Auréola de argamassa (>1 cm) e segregação considerável= 3
Concreto Fluido	2	
CAA - 5% CBC	3	
CAA - 10% CBC	1	
CAA - 15% CBC	0	
CAA - 20% CBC	0	
CAA - 25% CBC	1	

Por outro lado, o Índice de Estabilidade Visual (tabela 8) também foi determinado de acordo com a norma ASTM C1611 (2018), sendo que os traços CAA com 15% e 20% CBC não apresentaram

segregação ou exsudação, tendo um comportamento estável durante o tempo dos diferentes ensaios e uma consistência mais homogênea.

De acordo com os resultados observados nas tabelas 4, 5, 6 e 7, pode-se dizer que o traço CAA com 20% de adição de CBC como filler foi a que apresentou o melhor desempenho de acordo com as especificações e orientações para concreto autoadensável - HAC da EFNARC (2002) a norma ASTM C1611 (2018). Embora também tenha sido considerado que os traços com 10% e 15% mostram que podem atender a certos parâmetros de consistência e trabalhabilidade.

3.5 Ensaio de resistência à compressão

A figura 7 e a tabela 9 mostram os resultados de resistência à compressão aos 7, 14, 28, 56, 90, 180 e 360 dias para todas os traços, onde pode ser observado que a resistência à compressão dos traços com 10%, 15% e 20% CBC obteve resistências superiores aos traços controle e fluida, embora o uso de materiais com características pozolânicas possa gerar uma diminuição da resistência nos primeiros 28 dias (López, et al., 2010); porém, se forem garantidas a umidade e as condições adequadas para favorecer as reações de hidratação do cimento e as reações pozolânicas do CBC (Neville e Brooks, 1998), a resistência do concreto com CBC poderá ser maior do que um concreto sem CBC nas idades superior a 28 dias. Através das misturas que foram elaboradas para este estudo, foi possível verificar o efeito do ganho na resistência após 28 dias, sendo maior nos traços de CAA com CBC de 10%, 15% e 20%, podendo demonstrar a efeito pozolânico reduzido a partir de cinzas. Para os traços com 5% e 25% de CBC não ocorreu o mesmo efeito, que está relacionado com a perda da capacidade pozolânica do CBC.

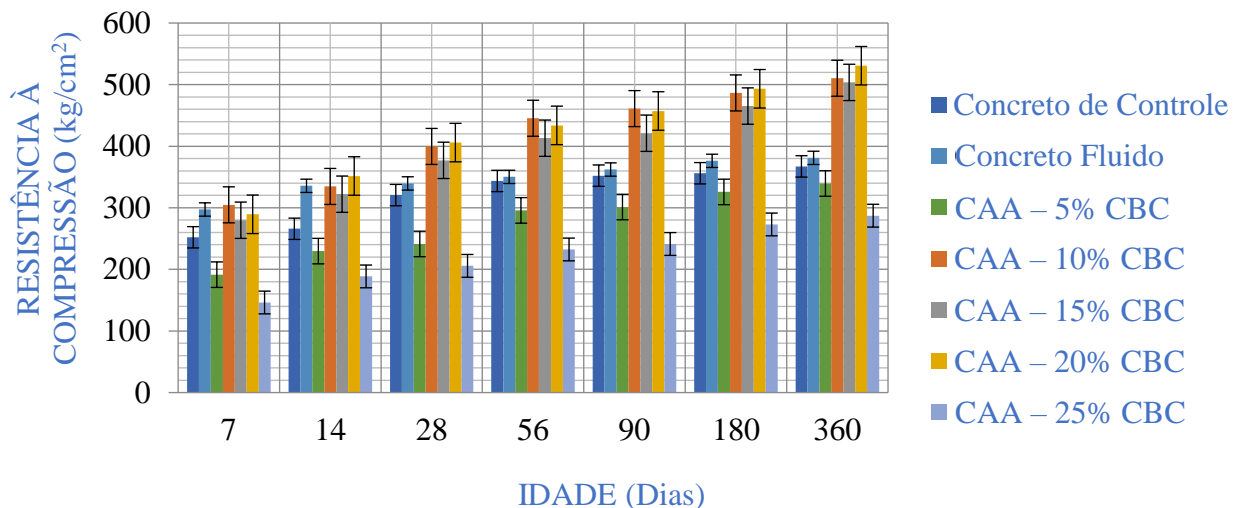


Figura 7. Valores médios de resistência à compressão de traços de concreto autoadensável.

3.6 Comparação de resultados dos ensaios para concreto autoadensável

Nesta seção são analisados os ensaios realizados para cada traço de concreto, que correspondem a: ensaio de espalhamento, ensaio T_{50cm} , ensaio anel J, ensaio caixa L, ensaio funil V e $V T_{5minutos}$ e resistência à compressão aos 28 dias. Os resultados alcançados neste projeto de pesquisa foram comparados com os obtidos em obras similares de concreto autoadensável. Para tanto, foram considerados apenas os três melhores traços deste trabalho, bem como os resultados de outras pesquisas com dosagem de traços semelhantes, dados apresentados na tabela 10.

Tabela 9. Dosagem dos materiais utilizados para os traços de concreto autoadensável de acordo com cada projeto de pesquisa.

Dosagem do traço	Relação a/c	Água (kg/m ³)	Cimento (kg/m ³)	Cinza de bagaço de cana (kg/m ³)	Cinza se arroz/pó de pedra (kg/m ³)	Agregado miúdo (kg/m ³)	Agregado graúdo (kg/m ³)	Superplastificante (% por peso de cimento)
CAA-10%CBC	0,45	190,00	380,00	38,00	-	830,00	845,00	2,00
CAA-15%CBC	0,43	190,00	380,00	57,00	-	830,00	845,00	2,00
CAA-20%CBC	0,42	190,00	380,00	76,00	-	830,00	845,00	2,00
10B-2SP*	0,41	225,00	500,00	50,00	-	875,00	750,00	2,00
15B-2SP*	0,39	225,00	500,00	75,00	-	875,00	750,00	2,00
20B-2SP*	0,37	225,00	500,00	100,00	-	875,00	750,00	2,00
MRB-10**	0,43	194,00	405,00	11,25	33,75/315	735,00	650,00	2,00
MRB-15**	0,43	194,00	382,50	22,50	45/315	735,00	650,00	2,00
MRB-20**	0,43	194,00	360,00	37,75	56,25/315	735,00	650,00	2,00
SCC-10B***	0,41	225,00	550,00	50,00	-	963,00	750,00	2,00
SCC-15B***	0,39	225,00	550,00	75,00	-	963,00	750,00	2,00
SCC-20B***	0,37	225,00	550,00	100,00	-	963,00	750,00	2,00

Traços de concreto com 10, 15 e 20% de adição de cinza de bagaço e 2% de aditivo superplastificante, as nomenclaturas são descritas de acordo com cada um dos autores citados. Foram selecionadas apenas as amostras que apresentam proporções significativas semelhantes às desta pesquisa.

* Akram et al. (2009) 10, 15 y 20% Bagasse-2% Superplastifier

** Narashimhan et al. (2014) Mix Replacement of Bagasse- 10, 15 y 20%

*** Amjad et al. (2015) SCC -15,20B (Self Compacting Concrete- 10, 15 y 20% Bagasse Ash)

Tabela 10. Resultados dos ensaios realizados nos diferentes traços de concreto autoadensável segundo cada autor.

Traço de concreto	Espalhamento (mm)	Espalhamento T _{50cm} (s)	Ensaio de anel J (diferenças em mm)	Ensaio de anel J "D _i " (mm)	Ensaio de caixa L (H ₂ /H ₁)	Ensaio de funil V (s)	Ensaio de funil V a T _{5 minutos} (s)	Resistência à compressão 28 dias (kg/cm ²)	Relação a/c
CAA-10%CBC	690	2,90	20	645	0,85	9,70	3,00	399,63	0,45
CAA-15%CBC	700	3,22	25	470	0,76	11,10	1,20	377,04	0,43
CAA-20%CBC	680	3,74	10	580	0,89	8,70	2,80	405,86	0,42
10B-2SP*	490	>10	-	-	Obstruído	14,00	6,00	387,49	0,41
15B-2SP*	420	>10	-	-	Obstruído	18,00	Retido	407,89	0,39
20B-2SP*	330	>10	-	-	Obstruído	>20	Retido	397,69	0,37
MRB-10**	630	6,00	10	480	0,80	14,00	-	420,53	0,41
MRB-15**	615	7,00	10	505	0,80	17,00	-	423,79	0,43
MRB-20**	600	7,00	13	535	0,70	19,00	-	402,17	0,43
SCC-10B***	474	6,00	-	-	0,70	14,00	6,00	254,93	0,41
SCC-15B***	425	Não atingido	-	-	0,00	18,00	Retido	285,52	0,39
SCC-20B***	313	Não atingido	-	-	0,00	Retido	Retido	244,73	0,37

Traços de concreto com 10, 15 e 20% de adição de cinza de bagaço e 2% de aditivo superplastificante, as nomenclaturas são descritas de acordo com cada um dos autores citados. Foram selecionadas apenas as amostras que apresentam proporções significativas semelhantes às desta pesquisa.

* Akram et al. (2009) 15 y 20% Bagasse-2% Superplastifier

** Narashimhan et al. (2014) Mix Replacement of Bagasse-10, 15 y 20%

*** Amjad et al. (2015) SCC -15,20B (Self Compacting Concrete-10, 15 y 20% Bagasse Ash)

Os dados apresentados na tabela 11 correspondem a dosagem de traços que possuem semelhanças em suas proporções, os quais foram descritos na tabela 10, que são comparados entre si de acordo com suas dosagens e são discutidos a seguir:

Os traços que foram comparadas com os trabalhos dos autores Akram et al. (2009), Narashimhan et al. (2014) e Amjad et al. (2015), correspondem a dosagem de traços com diferentes porcentagens de adição de cinza de bagaço de cana (0, 5, 10, 15, 20 e 25%) e aditivo superplastificante a 2% em massa de cimento. Os resultados de desempenho desses traços foram comparados com os traços desta pesquisa com 10%, 15% e 20% de adição de CBC.

Pelos dados comparados, pode-se dizer que o ensaio de espalhamento apresentou resultados aceitáveis para os traçados selecionados, pois as misturas devem estar dentro da faixa mínima de 650 e máxima de 800 mm, com tempos de escoamento $T_{50\text{cm}}$ de no mínimo 2 s e máximo de 5 s (EFNARC, 2002). De acordo com os resultados apresentados na tabela 11, os concretos CAA e MRB são as únicas misturas de concreto que atendem ao ensaio de espalhamento, porém, para o tempo de escoamento $T_{50\text{cm}}$, apenas os traços de concreto rotuladas como CAA, enquanto os traços de concreto dos outros 3 autores não se qualificam para o referido teste.

Por meio do ensaio anel J, obteve-se a razão da diferença de altura da mistura entre a parte interna e externa do anel, que não deve ultrapassar 10 mm. Os resultados apresentados na tabela 11 para este ensaio foram realizados apenas para os traços de CAA e MRB, onde se pode observar que os traços CAA-20%CBC, MRB-10 e MRB-15 atendem satisfatoriamente.

Por meio do ensaio caixa L e dos resultados da relação altura (H_2/H_1) apresentados na tabela 11, foi possível determinar que os traços CAA-10%CBC, CAA-20%CBC e MRB-15 foram os únicos os que ficaram dentro dos valores aceitáveis com 0,85, 0,89 e 0,80 respectivamente (sendo que a faixa da relação H_2/H_1 deve estar entre 0,8 a 1). As outras misturas de concreto não atenderam a este ensaio, de fato, alguns traços obstruíram e não fluíram conforme exigido para um CAA.

No ensaio do funil V é indicado o tempo aceitável de 6 a 12 segundos, permitindo avaliar a capacidade de fluidez das misturas. Onde os traços de concreto CAA-10%CBC, CAA-15%CBC e CAA-20%CBC foram as que ficaram dentro dos limites aceitáveis para este ensaio, enquanto as demais amostras ultrapassaram o tempo permitido. Em relação ao ensaio de funil V em $T_{5\text{minutos}}$, que permite avaliar a propriedade de resistência à segregação, considera-se a faixa admissível de 0 a +3 segundos, pelo que se pode observar nos resultados que os traços estudados neste trabalho atendem com o referido requisito, enquanto os traços relatados na literatura não atenderam a esse requisito.

Os resultados de resistência à compressão aos 28 dias apresentados na tabela 11 correspondem a relações a/c relativamente semelhantes ou próximas às consideradas neste projeto. A resistência mecânica obtida para os traços de CBC aos 28 dias é próxima de 400 kg/cm^2 com um teor médio de cimento de 380 kg/m^3 ; para os traços indicados com as etiquetas 10B, 15B e 20B-2SP, a resistência mecânica comporta-se de forma semelhante aos traços com CBC mas com um teor médio de cimento de 500 kg/m^3 ; enquanto nos traços identificados como MRB foi observada resistência mecânica acima de 400 kg/cm^2 com teores de cimento de 360 a 405 kg/m^3 ; da mesma forma, nos traços denominadas SCC, foram alcançadas resistências da ordem de 250 kg/cm^2 para teores de cimento de 550 kg/m^3 .

Embora os resultados mostrem resistências próximas das relações a/c propostas, alguns traços não atendem as propriedades de um CAA, apesar de apresentarem maior teor de cimento, portanto, independentemente do processo de fabricação, é necessário julgamento e um projeto adequado a ser capaz de alcançar os benefícios de um CAA. As resistências mecânicas apresentadas no comparativo apresentam resistências adequadas aos seus projetos, porém as apresentadas neste trabalho são as que atendem a quase todas as especificações de um CAA. Os demais autores obtiveram melhores resultados, mas para dosagens com maiores teores de superplastificantes e/ou menores teores de cinza de bagaço.

4. CONCLUSÕES

- O presente artigo demonstra que é possível projetar um CAA com materiais da região incorporando um resíduo agroindustrial como o CBC com dosagens de 10%, 15% e 20%, que atendem em sua maioria aos parâmetros elementares de trabalhabilidade de um CAA. tais como: capacidade de enchimento, capacidade de passagem e resistência à segregação, que por sua vez foram submetidos a vários ensaios, como: ensaio de espalhamento e ensaio T_{50cm}, ensaio anel J, ensaio caixa L, teste de funil V e funil V em T_{5minutos} e Índice de Estabilidade Visual. A mistura com melhor desempenho foi a proporção com 20% CBC.
- Em relação à resistência à compressão, observa-se que a utilização do CBC como filler apresenta vantagens favoráveis, especificamente para proporções de 10%, 15% e 20% de CBC, onde sua resistência à compressão foi aumentada em relação ao traço controle. A utilização do CBC como filler permite otimizar o consumo de cimento e modificar a dosagem do traço para utilizar relações A/C inferiores às exigidas, o que ajuda a mitigar o impacto no meio ambiente ao implementar resíduos agroindustriais e melhorar a consistência, trabalhabilidade, e resistência do concreto acabado.

5. AGRADECIMENTOS

À Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas pelas facilidades concedidas ao projeto para sua realização e pela utilização dos diversos laboratórios existentes para a realização dos estudos e ensaios correspondentes.

6. REFERÊNCIAS

- ACI-211.4R. (2008). American Concrete Institute. *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*. Michigan, United States of America.
- ACI-211.1. (2002). American Concrete Institute. *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete*. Michigan, United States of America.
- Águila, I., & Sosa, M. (2008). Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 23(4), 55-66. Recuperado en 05 de junio de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000400006&lng=es&tlng=es.
- Amjad, U., Ali, S., & Ahad, Z. (January de 2015). Bagasse ash utilization as viscosity modifying agent to produce an economical self compacting concrete. *International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering*, 04(01).
- ASTM-C33/C33M-18. (2018). American Society for Testing and Materials. *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. West Conshohocken, PA, United States of America: ASTM International.
- ASTM-C494/C494M-17. (2017). American Society for Testing and Materials. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. West Conshohocken, PA, United States of America: ASTM International.
- ASTM-C31/C31M-08a. (2008). American Society for Testing and Materials. *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*. West Conshohocken, PA, United States of America: ASTM International.

- ASTM-C1611/C1611M-18. (2018). American Society for Testing and Materials. *Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete*. West Conshohocken, PA, United States of America: ASTM International.
- ASTM-C39/C39M-04a. (2004). American Society for Testing and Materials. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. West Conshohocken, PA, United States of America: ASTM International.
- ASTM-C618-19. (2019). American Society for Testing and Materials. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. West Conshohocken, PA, United States of America: ASTM International.
- Cachán A., C. (2001). *Encuentro Medioambiental Almeriense: En busca de soluciones*. (pág. 29). Andalucía.
- Camargo, M., Pereira, A., Akasaki, J., Fioriti, C., Payá, J., & Pinheiro, J. (2014). Rendimiento de morteros producidos con la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar. *Revista Ingeniería de Construcción*, 29(2), 187-199. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000200005>
- Castaldelli, V., Moraes, J., Akasaki, J., Melges, J., Monzó, J., Borrachero, M., . . . Tashima, M. (15 de June de 2016). Study of the binary system fly ash/sugarcane bagasse ash (FA/SCBA) in SiO₂/K₂O alkali-activated binders. *Fuel*, 174, 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.02.020>
- Dharanidharan, S., Rajkumar, L., & Karthick, B. (March de 2015). An experimental study on mechanical properties of concrete by using sugarcane bagasse ash. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 401-405.
- Efnarc, S. (2002). European Federation of National Associations Representing for Concrete. *Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable - HAC*.
- Hien Le, D., Nain Sheen, Y., & Tra Lam, M. N. (2018). Fresh and hardened properties of self-compacting concrete with sugarcane bagasse ash–slag blended cement. *Construction and Building Materials* (185), 138-147. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.029>
- Industria cementera en México: Sin señales de recuperación a pesar de tocar fondo el año pasado*. (2020, 22 enero). S&P Global Ratings. Recuperado 13 de diciembre de 2022, de <https://www.spglobal.com/assets/documents/ratings/es/2020-01-22-industria-cementera-mexico.pdf>
- Jiménez, V. (Abril de 2013). Tesis de Doctorado. *Efecto de la ceniza de bagazo de caña y ceniza volante en la trabajabilidad, propiedades mecánicas y durabilidad de concretos ternarios*, 172. (S. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Ed.) Chihuahua, Chihuahua, México. <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/74>
- León-Velez, A., & Guillén-Mena, V. (2020). Energía contenida y emisiones de CO₂ en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. *Ambiente Construido*, 20, 611-625. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300448>
- López, Mauricio, & Castro, José Tomás. (2010). Efecto de las puzolanas naturales en la porosidad y conectividad de poros del hormigón con el tiempo. *Revista ingeniería de construcción*, 25(3), 419-431. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000300006>
- Martirena, J., Middendorf, B., Gehrke, M., & Budelmann, H. (1998). Use of wastes of the sugar industry as pozzolana in lime-pozzolana binders: study of the reaction. *Cement and Concrete Research*, 11(28), 1525-1536. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00130-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00130-6)
- Martirena, J. F., Middendhort, B., & Budelmann, H. y. (1997). *Estudio de la reacción de hidratación de aglomerantes de cal puzolana fabricados en base a desechos de la industria azucarera*. Santa Clara, Cuba: Universidad Central de las Villas-UCLV.
- Mehta, P. K. (2000, octubre). *Avances en la tecnología del concreto*. Revista Construcción y Tecnología - IMCYC. Recuperado 10 de mayo de 2020, de

<http://www.imcyc.com/revista/2000/octubre2000/concreto.htm#:~:text=Entre%20los%20avances%20recientes%2C%20el,alta%20resistencia%20y%20gran%20durabilidad.>

Memon, S., & Obaid, H. (2009). Production of low cost self compacting concrete using bagasse ash. *Construction and Building Materials* (23), 703-712.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.02.012>

Méndez, M. (2008). Tesis de Maestría. *Determinación de la reactividad puzolánica de adiciones minerales de origen natural con el cemento Portland*, 93. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México: Instituto Politécnico Nacional.

Nasvik, J. (2006, marzo). *El ABC del concreto autocompactable*. Revista Construcción y Tecnología - IMCYC. Recuperado 10 de mayo de 2020, de

<http://www.imcyc.com/ct2006/marzo06/TECNOLOGIA.pdf>

Neville, A., & Brooks, J. (1998). *Tecnología del concreto*. Reimpresión 2010, México: Trillas.

Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-compacting concrete. *Journal of advanced concrete technology*, 1(1), 5-15. <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>

Petermann, J., Nunes, S., & Sales, A. (2018). Self-compacting concrete incorporating sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials* (172), 635-649.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.277>

Teixeira, S. R., Romero, M. & Rincón, J. M. (2010). *Crystallization of SiO₂-CaO-Na₂O Glass Using Sugarcane Bagasse Ash as Silica Source*. *Journal of the American Ceramic Society*, 93(2), 450-455. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2009.03431.x>

Robayo, R., Matthey, P., & Delvasto, S. (2015). Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición. (U. S. Bolívar, Ed.) *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(1) 86-94. Recuperado en 12 de agosto de 2022, de

[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000100012&lng=es&tlng=es.](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000100012&lng=es&tlng=es)

SIAP. (11 de Diciembre de 2018). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Recuperado el Enero de 2019, de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera:

http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do

Sinde, K., & Angalekar, S. (2016). To study the hardened properties of SCC by effectiveness range of SCBA of different regions. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 03(08).

Socrates, G. (2004). *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts* (Third Edition ed.). West Sussex, England: John Wiley & Sons.