



Nota Técnica

Evaluación de la eficiencia de morteros de revestimiento con aditivos reciclados aplicando Análisis Envoltante de Datos (DEA) Evaluation of efficiency of coating mortars with recycled additives applying Data Envelopment Analysis (DEA)

Nigme Cadenas Rodríguez^a, Belkis López de Lameda^b

^aUniversidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Venezuela

^bUniversidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela

Recibido: 01-02-2018

Aceptado: 20-07-2018

Resumen

La industria de la construcción civil tiene entre sus prioridades la optimización de los recursos para hacer más eficientes sus procesos. En este trabajo se aplica el Análisis Envoltante de Datos (DEA) para conocer la eficiencia relativa de las resistencias a la compresión de doce (12) mezclas de morteros de revestimientos (frisos), los cuales han sido analizados en cuatro (4) estudios previamente publicados. Se evalúa la eficiencia de morteros de revestimientos con adición de material reciclado como fibra de acero, cal, bagazo de caña de azúcar (CBCA) y plástico reciclado de baja densidad (PEBD), realizando la comparación relativa de sus resistencias a la compresión para utilizarlos como alternativa de sustitución de materiales pétreos. Se corrobora la eficiencia de las mezclas de cemento y arena sin aditivo o con cal y se comprueba la eficiencia del uso de CBCA (2,71 kg) y fibra de acero (0,5 y 1 kg) en mezclas de morteros de revestimiento. Se propone mejoras potenciales que especifican las reducciones en kilogramos y porcentajes para los componentes y su contribución en el cálculo de la eficiencia.

Palabras clave: eficiencia, morteros de revestimiento, frisos, DEA, aditivos.

Código UNESCO: 330314 -Revestimientos Protectores

Abstract

Among other priorities, the civil construction industry requires optimize its resources to streamline their processes. In this paper, the Data Envelopment Analysis (DEA) is applied to know the relative efficiency of the compressive strength of twelve (12) mortar mixtures of coatings (friezes), which have been analyzed in four (4) studies previously published. The efficiency of coating mortars with addition of recycled material such as steel fiber, lime, sugarcane bagasse (CBCA) and low density recycled plastic (LDPE) is assessed, by making the relative comparison of its compression resistances to Use them as an alternative to replacing stone materials. The efficiency of the mixtures of cement and sand without additive or with lime is corroborated and the efficiency of the use of CBCA (2.71 kg) and steel fiber (0.5 and 1 kg) is verified in mixtures of mortars of coating. It proposes potential improvements that specify the reductions in kilograms and percentages for the components and their contribution in calculating efficiency.

Key words: efficiency, friezes, additives, DEA, coating mortars.

UNESCO Code: 330314 - Protective Coatings

1. Introducción

Vitalis [1] refiere la evidente indiferencia ecológica en América Latina, que conlleva la producción de 1 kg a 14 kg de basura diaria por persona. Los residuos sólidos se agrupan en materiales orgánicos, papel, cartón, plásticos, textiles, metales, vidrios y otros, la industria genera entre el 5 % y el 30 %; sólo en América Latina y el Caribe promedian alrededor de 150 millones de toneladas de residuos anuales, siendo gran parte de ella no biodegradable.

Plantear el aprovechamiento de diversos materiales de desechos de otros procesos, para potenciar las propiedades de los morteros de revestimiento, minimizando el uso de materiales pétreos, ha sido el objetivo común de Seco, Muñoz, Martínez y Lugo [2], Castañeda [3], Encinas [4] y Hernández [5]. Para los morteros hechos en obra, referenciales en este estudio, es imprescindible verificar las dosificaciones realizando los ensayos indicados en la norma UNE-EN 998-1 [6], cuyas pruebas obligatorias son la medición de la resistencia a la compresión, absorción de agua y adhesión permitiendo concluir la aceptación de las mezclas propuestas.

Mokate [7] señala que la eficiencia se observa al seleccionar y usar los medios más efectivos y de menor desperdicio con el fin de llevar a cabo una tarea o lograr un propósito. También es pertinente resaltar la definición de productividad enunciada por Prokopenko[8] cuando señala que es la relación entre la producción generada por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados para obtenerla. Así pues, la productividad se define como el uso eficiente de recursos (trabajo, capital, tierra, materiales, energía, información) en la producción de diversos bienes y servicios. Una productividad mayor significa la obtención de más con la misma cantidad de recursos, o el logro de una mayor producción en volumen y calidad con el mismo insumo.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la eficiencia de la resistencia a la compresión 12 mezclas de morteros de revestimientos con adición de material reciclado tales como fibra de acero, cal, bagazo de caña de azúcar y PEBD, realizando la comparación relativa de sus resistencias a la compresión con el Análisis DEA, porque permite conocer el rendimiento de las mezclas analizadas y determinar su factibilidad en el cumplimiento de las exigencias mínimas de las propiedades de los morteros con materiales reciclados y sustituir en alguna fracción los materiales pétreos utilizados tradicionalmente.

Coll y Blasco [9] definen DEA, como la técnica de programación lineal que permite la estimación de una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica, a partir de datos disponibles del conjunto de unidades objetos de estudio llamadas Unidades de Producción (DMU), denominadas Unidades Eficientes si determinan la envolvente. El desarrollo de este instrumento se le atribuye a Charnes, Cooper y Rhodes [10] con base en la metodología de frontera de Farrell [11], posteriormente Banker, Charnes y Cooper [12] sugirieron una extensión del modelo de DEA-CCR para explicar las situaciones con rendimientos variables a escala. El DEA-BCC ofrece información de la eficiencia relativa de cada unidad comparada.

Según Schuschny [13] la metodología DEA se ha aplicado para analizar la eficiencia productiva en actividades industriales muy diversas, destacan los sectores bancario, agropecuario, energético, pesquero y de infraestructura, resaltando su aplicación en proyectos de investigación y desarrollo. Por ejemplo está el trabajo realizado por Gómez [14] en el cálculo de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina o la medición de la eficiencia de las universidades en México por Navarro, Gómez y Torres [15].

En el trabajo se desarrollan los fundamentos teóricos que soportan el estudio, se describe la metodología, se selecciona el método idóneo para el cálculo de la eficiencia y se aplica el método DEA a los datos seleccionados en investigaciones publicadas obteniendo resultados que se interpretan para finalmente elaborar las conclusiones y recomendaciones que sintetizan el aporte científico de la investigación.

2. Desarrollo

2.1. Metodología

El estudio de la eficiencia de mezclas de morteros de revestimientos con aditivos reciclados se desarrolla con base en el análisis de las resistencias a la compresión, utilizando el método DEA, para evaluar la producción respecto al

mínimo nivel de insumos (componentes de las mezclas) necesarios para el producto de un cierto nivel de exumo o salida (propiedad seleccionada: resistencia a la compresión). A continuación se presenta el procedimiento a seguir para la evaluación realizada:

- a) Selección de la orientación del análisis de eficiencia. Según Charnes, Cooper y Rhodes [10], la eficiencia puede ser caracterizada con la orientación del modelo input-orientado donde se busca la máxima reducción proporcional en el vector insumos (mezclas con mayor utilización de material reciclado), sin alterar sus outputs (resistencia a la compresión).
- b) Selección de tipo de rendimiento a escala: La base de datos seleccionada son producto de diferentes investigaciones, en las cuales no especifican una relación de escala constante por lo que se asume un rendimiento variable a escala.
- c) Selección del modelo: Para la evaluación de la resistencia a la compresión a los 28 días (kgf/cm^2), se seleccionó como método el modelo DEA-BCC[9] [12] debido a que proporciona medidas de eficiencia radiales, con inputs orientado y rendimientos a escala variables, considerando una unidad productiva eficiente cuando produce igual o más resistencia a la compresión, utilizando más material reciclado en sustitución de materiales pétreos.
- d) Selección de los datos e identificación de las Unidades Objeto de Análisis (DMU's): Los datos seleccionados son producto de los resultados de cuatro (4) estudios donde se analizan trece (13) mezclas morteros de revestimientos con diferentes aditivos (ver cuadro 1), cuyos resultados miden el impacto que aporta el aditivo en las propiedades físicos-químicas y mecánicas de las mezclas propuestas. De este universo se seleccionaron doce (12) datos objeto que representan las DMU's que comprenden las distintas mezclas de cemento y arena con acero, polietileno de baja densidad, cal y bagazo de caña de azúcar como aditivos en diferentes proporciones, cuyos estudios previos arrojaron las resistencias a la compresión correspondientes a 28 días (kgf/cm^2).
- e) Se utiliza el software Frontier Analyst® para el cálculo de la eficiencia técnica relativa.

A continuación se describen las doce (12) mezclas a evaluar con el método DEA para determinar las eficientes, es decir aquellas que cumplen con las especificaciones de la norma con respecto a la resistencia a la compresión e incluso conocer aquellas mezclas que no son óptimas pero con alta probabilidad de eficiencia (cuadro 2). Las variaciones entre mezclas dependen de los valores de su composición (cuadro 4).

2.2. Morteros de revestimiento

La Asociación Nacional de Fabricantes de Morteros (AFAM) [16] señala que un mortero de revestimiento es un material de construcción que se aplica o sitúa sobre la superficie externa de otro elemento o sistema constructivo, con el fin de cubrirlo por razones funcionales o estéticas. Son también llamados enlucidos, enfoscados, guarnecidos, revocos o revoques. La norma COVENIN 221:2001 [17] define sus componentes: aglomerante (ligante capaz de unir partículas de material inerte por efectos físicos o transformaciones químicas), agregado fino (material pétreo, natural o artificial dividido, se obtiene por trituración de una roca, piedra o escoria llamado comúnmente arena, de forma y tamaño estable, que actúa como material inerte), agua y aditivo (material que se añade al mortero con objeto de modificar alguna de sus propiedades).

Las proporciones y tipos de ligantes, agua, agregados y aditivos deben establecerse en función de los objetivos que se persigue, para adecuar las propiedades en estado fresco y en estado endurecido al uso específico que se pretende [18]. AFAM [16] clasifica los morteros según su resistencia a la compresión en concordancia con la norma EN-998-1:2003 [6], que establece cuatro grupos diferenciados por intervalos de resistencia cuyo valor se expresa en Newton por milímetros cuadrado (N/mm^2) o en kilogramo por centímetro cuadrado (kgf/cm^2): Los morteros de clases CS I y CS II, son morteros menos cohesionados, no adecuados para soportar cambios ambientales bruscos o extremos y se destinan a uso interior mientras que los de CS III y CS IV, su dosificación rica en conglomerante facilita una masa mejor cohesionada y mayor respuesta a cambios ambientales, aptos para el uso exterior (cuadro 3)

2.3. Análisis de resultados

Es vital respetar la homogeneidad de los datos para aplicar el método DEA-BCC, por ello se hacen las siguientes consideraciones: del estudio nro 3 (ver cuadro 1) se excluye del análisis los datos sobre la cantidad de agua y la cantidad de cal, constantes en todos los ensayos efectuados; así como también una mezcla por no contener aditivo. En el cuadro 4 se muestra la selección de mezclas, evidenciando la similitud que tienen dichas unidades de análisis. A fin de hacer viable la comparación de eficiencia de las mezclas y garantizar el poder discriminatorio en la aplicación del DEA, es necesario que la cantidad de mezclas a analizar sea superior a la suma de Inputs y Outputs (Banker y Datar) [13] [19]. En este

Cuadro 1: Estudios considerados sobre propiedades físico-químicas de morteros de revestimiento con aditivos no tradicionales

Nro	Año	Autor	País	Título	Objetivo	Identificación
1	2015	Seco, Muñoz, Martínez y Lugo [2]	Venezuela	Evaluación de bloques revestidos con mortero reforzados con fibra de acero	Evaluar la resistencia a la compresión de bloques recubiertos con mortero de cemento reforzado con fibra de acero	DMU1-ACE DMU2-ACE DMU3-ACE
2	2013	Castañeda [3]	Venezuela	Análisis de las propiedades mecánicas de morteros sustituyendo el agregado fino por plástico reciclado de baja densidad	Analizar las propiedades mecánicas de morteros sustituyendo el agregado fino por plástico reciclado de baja densidad en un 10 %	DMU4-PEBD DMU5-PEBD
3	2012	Encinas [4]	México	Mejoramiento de aplanados de yeso para aumentar la tolerancia de fisuramiento	Elaborar un mortero económico a base de yeso y cal que presente una mayor tolerancia al fisuramiento	DMU6-CAL DMU7-CAL DMU8-CAL DMU9-CAL
4	2011	Hernández [5]	México	Comportamiento mecánico y físico del mortero a base de CBCA como árido en aplanados de muros.	Analizar el comportamiento mecánico y físico en la sustitución de árido por cenizas de bagazo de caña de azúcar para aplanados sobre muros.	DMU10-CBCA DMU11-CBCA DMU12-CBCA

Cuadro 2: Mezclas consideradas en el estudio.

Mezcla	Descripción	Codificación
DMU1-ACE, DMU2-ACE, DMU3-ACE	Mezcla de cemento, arena y acero	CEM-ARE-ADIT (ACR)
DMU4-PEBD, DMU5-PEBD	Mezcla de cemento, arena y polietileno de baja densidad	CEM-ARENA-ADIT (PEBD)
DMU6-CAL, DMU7-CAL, DMU8-CAL, DMU9-CAL	Mezcla de cemento, yeso y cal	CEM-YES-ADIT (CAL)
DMU10-CBCA, DMU11-CBCA, DMU12-CBCA	Mezcla de cemento, yeso y bagazo de caña	CEM-ARENA-ADIT (CBCA)

Cuadro 3: Intervalo de resistencia a compresión.

Categorías	(N/mm ²)	(kf/cm ²)
CSI	0,4 a 2,5	4,08 a 25,49
CS II	1,5 a 5,0	15,30 a 50,99
CS III	3,5 a 7,5	35,70 a 76,48
CS IV	6	61,19

Fuente: AFAM [17]

Cuadro 4: Detalle de la composición de las mezclas, respecto a las variables de entrada y salida.

Investigación	Mezclas	Entradas			Salida	
		Cemento (kg)	Arena(kg)	Adit(kg)	RC	
Seco, Muñoz, Martínez y Lugo [2]	DMU1-ACE	CEM-ARE-ADIT (ACR)	16,66	45,83	0,00	64,88
Seco, Muñoz, Martínez y Lugo [2]	DMU2-ACE	CEM-ARE-ADIT (ACR)	16,66	45,83	0,50	70,68
Seco, Muñoz, Martínez y Lugo [2]	DMU3-ACE	CEM-ARE-ADIT (ACR)	16,66	45,83	1,00	84,8
Castañeda [3]	DMU4-PEBD	CEM-ARENA- ADIT (PEBD)	0,299	1,409	0	107,07
Castañeda [3]	DMU5-PEBD	CEM-ARENA- ADIT (PEBD)	0,299	1,31	0,082	95,47
Encinas [4]	DMU6-CAL	CEM-YES- ADIT (CAL)	0	0	0,10	33,08
Encinas [4]	DMU7-CAL	CEM-YES- ADIT (CAL)	0	0	0,20	24,59
Encinas [4]	DMU8-CAL	CEM-YES- ADIT (CAL)	0,10	0	0,30	24,26
Encinas [4]	DMU9-CAL	CEM-YES- ADIT (CAL)	0,10	0	0,40	21,83
Hernández [5]	DMU10-CBCA	CEM-ARENA- ADIT (CBCA)	0,5	3,744	0	17,33
Hernández [5]	DMU11-CBCA	CEM-ARENA- ADIT (CBCA)	0,5	1,71	1,71	14,2
Hernández [5]	DMU12-CBCA	CEM-ARENA- ADIT (CBCA)	0,5	0	2,71	10,4

RC: Resistencia a la compresión a los 28 días (kgf/cm²)

caso el número de unidades estudiadas es 12, lo cual es superior a la sumatoria de variables empleadas (inputs+outputs = 3+1= 4). La figura 1 muestra la relación entre los elementos de las mezclas (inputs) y la correspondiente medición de la resistencia a la compresión (output).

Cuadro 5: Datos para las variables de entradas y salida.

Mezcla	Entradas			Salida
	Cemento (kg)	Arena (kg)	Aditivo (kg)	Resist-Compres (kgf/cm ²)
DMU1 -ACE	16,66	45,83	0,01	64,88
DMU2 -ACE	16,66	45,83	0,50	70,68
DMU3 -ACE	16,66	45,83	1,00	84,80
DMU4 -PEBD	0,30	1,41	0,01	107,07
DMU5 -PEBD	0,30	1,31	0,082	95,47
DMU6 -CAL	0,01	0,01	0,10	33,08
DMU7 -CAL	0,01	0,01	0,20	24,59
DMU8 -CAL	0,10	0,01	0,30	24,26
DMU9 -CAL	0,10	0,01	0,40	21,83
DMU10-CBCA	0,5	3,744	0,01	17,33
DMU11-CBCA	0,5	1,71	1,71	14,20
DMU12-CBCA	0,5	0,01	2,71	10,40

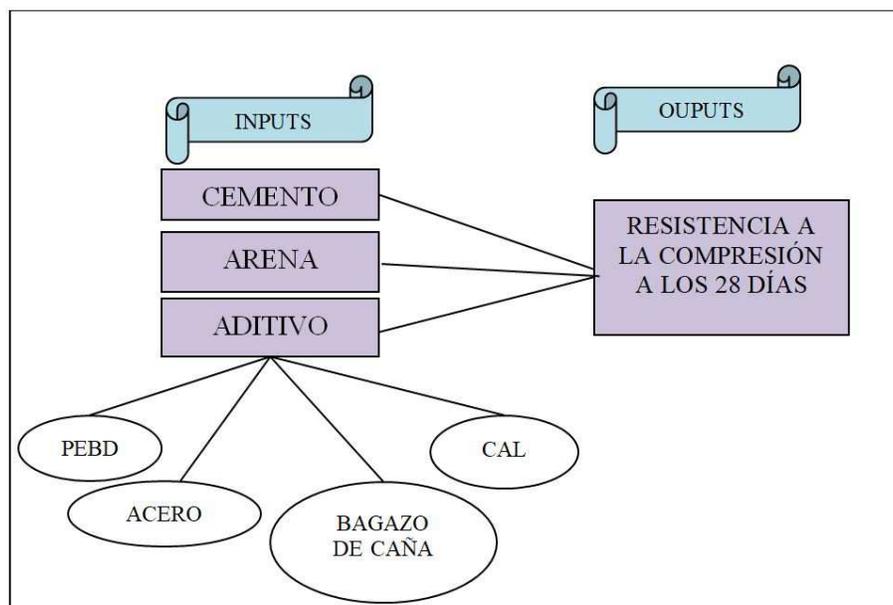


Figura 1: Selección de inputs y outputs.

El ingreso de los datos de la composición de cada una de las mezclas al software se realizó de la siguiente manera (cuadro 5): Se registran doce (12) Unidades Objeto de Decisión (DMU) correspondientes a las mezclas de mortero a analizar. Se ingresan tres (3) entradas (Inputs): Cemento, Arena y Aditivo (todas expresadas en kg) y se relacionan con una (1) salida: Resistencia a la compresión (Resist-Compres) en kgf/cm², presentando los siguientes resultados (ver figura 2):

- En el cálculo de eficiencia realizado, se aprecian dos (2) de las doce (12) mezclas eficientes u óptimas (aquellas cuyo score es 100), siendo éstas las que determinan la frontera eficiente, ellas son DMU4-PEBD Y DMU6-CAL.
- Se observan seis (6) unidades que están vinculadas con eficiencia muy cercana al 100 %, las cuales oscilan entre 91 % y 99,9 %.
- Se obtiene una (1) mezcla con eficiencia entre 81 y 90 %.
- Por último, se registran tres (3) mezclas no eficientes.

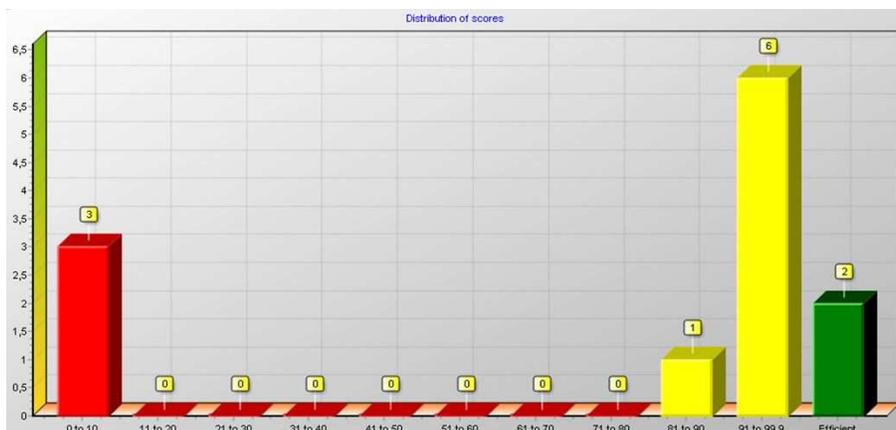


Figura 2: Niveles de eficiencia obtenidos en el análisis.

Con estos resultados es pertinente clasificar los resultados obtenidos de eficiencia en cuatro categorías: mezclas eficientes (100 %), con eficiencia alta (entre 91 y 99,9 %), media (entre 11 y 80 %) y baja (entre 0 y 10 %) (ver cuadro 6). Hasta ahora se tienen resultados concretos sobre el comportamiento de las mezclas con respecto a la eficiencia de sus componentes. Maximizando la potencialidad de la herramienta de análisis para obtener un resultado más preciso se calcula la eficiencia sólo con los grupos conformados por las mezclas con eficiencia alta y media, es decir, el universo en esta oportunidad son de siete (7) mezclas cuyos resultados son los siguientes (ver figura 3):

- a) En el cálculo de eficiencia realizado, se aprecia cuatro (4) de las siete (7) mezclas con eficiencia óptima, siendo éstas las que determinan la frontera eficiente para esta muestra, ellas son DMU1-ACE, DMU5-PEBD, DMU7-CAL y DMU10-CBCA.
- b) Se observan tres (3) unidades que están vinculadas con eficiencia relativa muy cercana al 100 %: DMU8-CAL, DMU9-CAL y DMU12-CBCA.

Lo anterior motiva a reestructurar la clasificación de la eficiencia de las mezclas presentadas en el cuadro 6, el resultado es mostrado en el cuadro 7.

Cuadro 6: Clasificación de la eficiencia relativa de las mezclas.

Mezclas eficientes (100 %)	Mezclas con eficiencia alta (91 a 99,9 %)	Mezclas con eficiencia media (11 a 80 %)	Mezclas con eficiencia baja (0 a 10 %)
DMU4-PEBD	DMU1-ACE, DMU7-CAL	DMU5-PEBD	DMU2-ACE
DMU6-CAL	DMU8-CAL, DMU9-CAL		DMU3-ACE
	DMU10-CBCA, DMU12-CBCA		DMU11-CBCA

Cuadro 7: Clasificación reestructurada de la eficiencia relativa de las mezclas.

Mezclas eficientes (100 %)	Mezclas con eficiencia muy alta (95 a 99 %)	Mezclas con eficiencia alta (91 a 94,99 %)	Mezclas con eficiencia baja (0 a 10 %)
DMU4-PEBD	DMU1-ACE	DMU8-CAL	DMU2-ACE
DMU6-CAL	DMU5-PEBD	DMU9-CAL	DMU3-ACE
	DMU7-CAL	DMU12-CBCA	DMU11-CBCA
	DMU10-CBCA		



Figura 3: Diagrama de barra de los resultados de los niveles de eficiencia.

3. Conclusiones

Con base en los resultados del cálculo de los niveles de eficiencia de las diferentes mezclas de cemento y arena con aditivos no convencionales y comparando sus resistencias a la compresión, utilizando el método DEA-BCC, se obtienen dos mezclas 100 % eficientes en la sustitución del material pétreo por materiales producto del desperdicio de otros procesos productivos. Ellas son: la mezcla de cemento, arena con plástico reciclado de baja densidad (PEBD) y la de cemento, yeso con cal. Al utilizar el DEA para el análisis de la eficiencia de resistencia a la compresión de doce (12) muestras expresadas en kilogramos, se construye la siguiente clasificación: Dos (2) mezclas eficientes: la primera compuesta por cemento y arena y la segunda solo cal (0,1); cuatro (4) con eficiencia muy alta: dos compuestas por cemento y arena, la tercera solo cal (0,20) y la cuarta con PEDB (0,082); tres (3) con eficiencia alta: las dos primeras cemento (0,10) con cal (0,30 y 0,40), la tercera cemento (0,5) con bagazo de caña (2,71) y tres (3) con eficiencias baja: las dos primera; cemento (16,66), arena (45,83) con acero (0,5 y 1,00) y la tercera cemento (0,5), arena (1,71) y bagazo de caña (1,71).

Considerando la Norma EN-998-1:2003 se comprueba que la mezcla tradicional de cemento y arena es eficiente u óptima; de la misma manera se corrobora el uso de la cal entre 0,10 kg a 0,40 kg como aditivo seguro para mantener la resistencia de la compresión requerida. Por otra parte no se recomienda el uso de acero para adicionarlo en mezclas de morteros de revestimiento en cantidades superior a los 0,5 kg. Como aporte científico se promueve la adición de 2,7 kg de bagazo de caña como aditivo para lograr resistencia a la compresión exigida por la norma y el uso de fibra de acero en cantidades inferiores a 0,5 kg.

4. Recomendaciones

Conocido los porcentajes de bagazo de caña y fibra de acero que no disminuyen la resistencia a la compresión, se recomienda un análisis similar para el cálculo de la eficiencia para las propiedades absorción de agua y adhesión para

ampliar los soportes de la aceptación de las mezclas propuestas. El análisis DEA ofrece información particularizada para cada DMU que puede ser empleada como líneas de investigaciones con el propósito de mejorar la eficiencia de las mezclas seleccionadas.

Referencias

- [1] Vitalis Latinoamerica ONG. El reciclaje no es prioridad en américa latina. Vitalis, 2017. [ONLINE](#).
- [2] C. Seco; M. Muñoz; E. Martínez; S. Lugo. Evaluación de bloques revestidos con mortero reforzado con fibras de acero. *Revista Ingeniería UC*, 22(1):77–81, 2015. [ONLINE](#).
- [3] J. Castañeda. Análisis de las propiedades mecánicas de morteros sustituyendo el agregado fino por plástico reciclado de baja densidad. Trabajo especial de grado. Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil, Maracaibo, Venezuela, 2013. [ONLINE](#).
- [4] E. Encinas. Mejoramiento de aplanados de yeso para aumentar la tolerancia de fisuramiento. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Sonora, México, 2011. [ONLINE](#).
- [5] U. Hernández. Comportamiento mecánico y físico del mortero a base de cba como árido en aplanados en muros. Tesis de Especialidad en Construcción presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, Región Xalapa. Especialidad en Construcción, México, 2011. [ONLINE](#).
- [6] Asociación Nacional Española De Fabricantes De Hormigón Preparado. Aen/ctn 83 hormigón. especificaciones de los morteros para albañilería. parte 1: Morteros para revocos y enlucidos. AENOR, España, 2006.
- [7] K. Mokate. Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad. ¿qué queremos decir? Banco Interamericano de Desarrollo, Instituto Interamericano para el Desarrollo Social INDES, 2002. [ONLINE](#).
- [8] J. Prokopenko. La gestión de la productividad. manual práctico. : Organización Internacionan del Trabajo, Ginebra, Suiza, 1989.
- [9] V. Coll; O. Blasco. Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos. introducción a los modelos básicos. Universidad de Valencia, Eumed.net, España, 2006.
- [10] A. Charnes; W. Cooper; E. Rhodes. Midiendo la eficiencia de las unidades de toma de decisiones. *European Journal of Operations Research*, 2(6):429–444, 1978.
- [11] M. Farrel. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Serie A*, Nº 120, part 3, 1957.
- [12] R. Banker; A. Charnes; W. Cooper. Some models for estimating technical and scale efficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9):1078–1092, 1984.
- [13] A. Schuschny. El método dea y su aplicación al estudio del sector energético y las emisiones de co2 en américa latina y el caribe. Naciones Unidas CEPAL, Santiago de Chile, 2007.
- [14] J. Gómez. Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en américa latina. *Estudios Generales*, 32(139):102–126, 2016. [ONLINE](#).
- [15] J. Navarro; R. Gómez; Z. Torres. Las universidades en méxico: un medida de su eficiencia a través del análisis envolvente de datos con bootstrap. *Acta univ*, 26(2):60–69, 2016. [ONLINE](#).
- [16] Asociación Nacional Fabricantes de Morteros. Morteros de revestimiento. AFAM, 2018. [ONLINE](#).
- [17] COVENIN. Convenin 221 materiales de construcción terminología y definiciones. Fondonorma, 2018. [ONLINE](#).
- [18] J. Vásquez. Optimización granulométrica de morteros de base cemento. Escuela Técnica Superior del Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 2012.
- [19] R. Banker y S. Datar. Sensitivity, precisión and linear agregation of signals for performance evaluation. *Journal of Accounting Reseach*, 1989.

Sobre las autoras

Nigme Cadenas Rodríguez

Magister en Ingeniería Industrial. Candidata a Doctora del programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería mención Productividad en la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Venezuela. Correo: necadenasr.doctorando@unexpo.edu.ve - [ORCID](#)

Belkis López de Lameda

Licenciada en Educación, mención física y matemáticas. Magister en educación mención física. Candidata a Doctora del Programa de Doctorado de Ciencias de la Ingeniería mención Productividad en la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Venezuela. Profesora jubilada de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Correo: belkislopez@ucla.edu.ve - [ORCID](#)