

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE PEGAZULEJO UTILIZANDO EL MATERIAL SASCAB EXTRAÍDO DE LA MINA X-KANAKÚ DE LA EMPRESA TRIVASA

¹Diana Monserrat Colin Amador, dianamca26@gmail.com

²Yair Romero Romero, yromero@ciatej.mx

RESUMEN

Como respuesta al incremento en la demanda de materiales pétreos debido al presente auge constructivo en la Península de Yucatán, la empresa Trivasa ha tenido que incrementar su capacidad instalada de extracción de materias primas, generando a su vez, la producción de grandes volúmenes de material sascab. Dicho material, al poseer un alto contenido de agregado fino y porcentaje de humedad, ocasiona una baja resistencia en los productos que actualmente manufactura la empresa, motivo por el cual, no puede ser utilizado como materia prima en el proceso de fabricación de estos, al no cumplir con los parámetros de calidad indicados por la norma oficial mexicana NMX-C-111-ONNCCE (2018). Esta circunstancia propicia un impacto financiero negativo en la empresa Trivasa por el no aprovechamiento de los grandes volúmenes de material sascab extraídos de su banco de materiales. El objetivo de este proyecto fue desarrollar un prototipo de pegazulejo para baldosas empleando el material sascab como agregado fino en su composición. La metodología utilizada para el desarrollo de la propuesta de solución esta basada en el método científico experimental y contempla cuatro etapas: la caracterización física del material sascab, la caracterización física de los productos de la competencia, el desarrollo del prototipo experimental y la validación técnica de dicho prototipo. Los resultados que se obtuvieron demuestran que el prototipo de pegazulejo con material sascab es técnicamente factible al obtener valores de resistencia a la compresión muy similares a los de otros tres productos pegazulejos de la competencia. Asimismo, el diseño granulométrico propuesto para este prototipo cumple con los límites permitidos por la norma mexicana NMX-C-077-ONNCCE (2019). Para concluir, se buscará en la siguiente fase del proyecto evaluar las percepciones cualitativas en aplicaciones reales por parte de usuarios finales, con la finalidad de validar la deseabilidad comercial del prototipo desarrollado

PALABRAS CLAVE

Granulometría
Innovación
Prototipo
Recuperación

ABSTRACT

In response to the increase in the demand for stone materials due to the current construction boom in the Yucatan Peninsula, the Trivasa company has had to intensify its installed capacity for the extraction of raw materials, generating, in turn, the production of large volumes of material sascab. Said material, having a high content of fine aggregate and percentage of humidity, causes a low resistance in the products that the company currently manufactures, which is why it cannot be used as raw material in the manufacturing process of these as it does not comply with the quality parameters indicated by the official Mexican Standard NMX-C-111-ONNCCE (2018). This circumstance leads to a negative financial impact on the Trivasa company due to the non-use of the large volumes of sascab material extracted from its material bank. The objective of this project was to develop a prototype of tile adhesive using the sascab material as a fine aggregate in its composition. The methodology used for the development of the solution proposal is based on the experimental scientific method and includes four stages: the physical characterization of the sascab material, the physical characterization of the competing products, the development of the experimental prototype and the technical validation of said prototype. The results obtained show that the tile adhesive prototype with sascab material is technically feasible, as it obtains compressive strength values very similar to those of three other competing tile adhesive products. Likewise, the granulometric design proposed for this prototype complies with the limits allowed by the Mexican standard NMX-C-077-ONNCCE (2019). To conclude, the next phase of the project will seek to evaluate the qualitative perceptions in real applications by end users, in order to validate the commercial desirability of the developed prototype.

KEYWORDS

Granulometry
Innovation
Prototype
Recovery

¹ Universidad de Guadalajara, Sistema de Universidad Virtual / estudiante.

² Investigador por México del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Universidad de Guadalajara, Sistema de Universidad Virtual / docente.

I. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2021, el sector de la industria de la construcción en el Estado de Yucatán ha presentado una alza, como parte de las estrategias de reactivación económica del Gobierno del Estado (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán, 2021). Ejemplo de esto son los diversos proyectos de obras para el mejoramiento y conservación de la infraestructura carretera en Yucatán a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), así como también, los diversos complejos turísticos y hoteleros que se están desarrollando en todo el estado.

Lo anterior ha propiciado un incremento en la demanda de materiales para la construcción, ocasionando que todas las empresas dedicadas a este giro de negocio se den a la tarea de incrementar su producción, tanto de materias primas como de productos terminados.

En la búsqueda por cubrir las altas demandas de materias primas y productos terminados, la empresa Trivasa S.A. de C.V. ha incrementado su capacidad instalada de extracción y trituración de materiales pétreos, lo que ha derivado por estas actividades, grandes volúmenes de material sascab ubicado en la segunda capa estratigráfica de la mina X-Kanakú.

El sascab, del maya Sas k'aab que significa "tierra blanca", "es una roca compuesta por carbonatos de calcio no consolidados sobre los que se superponen capas de sedimentos calizos" (Lorenzo y Carrascosa, 2019). Tiene una textura arenosa y fina, posee bajo contenido de magnesio y es de color blanquecino (Littmann, 1958; Pacheco y Alonzo, 2003; Perry, et al, 2003).

Este tipo de material rocoso es característico del tipo de suelo denominado kárstico, el cual se deriva de un fenómeno geológico que se suscita por la disolución y meteorización de la roca caliza (Martínez y Guerrero, 2020), la cual está conformada por carbonatos de calcio en porcentajes mayores al 70% (Ford y Williams, 2007). La disolución de estas rocas surge por diversos factores como el tiempo de exposición bajo la acción del agua de lluvia superficial o subterránea, el grado de porosidad y fracturación del estrato, e inclusive, por condiciones geohidrológicas y climáticas (Estrada-Medina et al, 2019).

De acuerdo con los resultados de un estudio geotécnico implementado por la empresa IPLANSA al subsuelo de la mina X-Kanakú en 2014, el material sascab compuesto principalmente de piedra caliza, posee características físicas muy

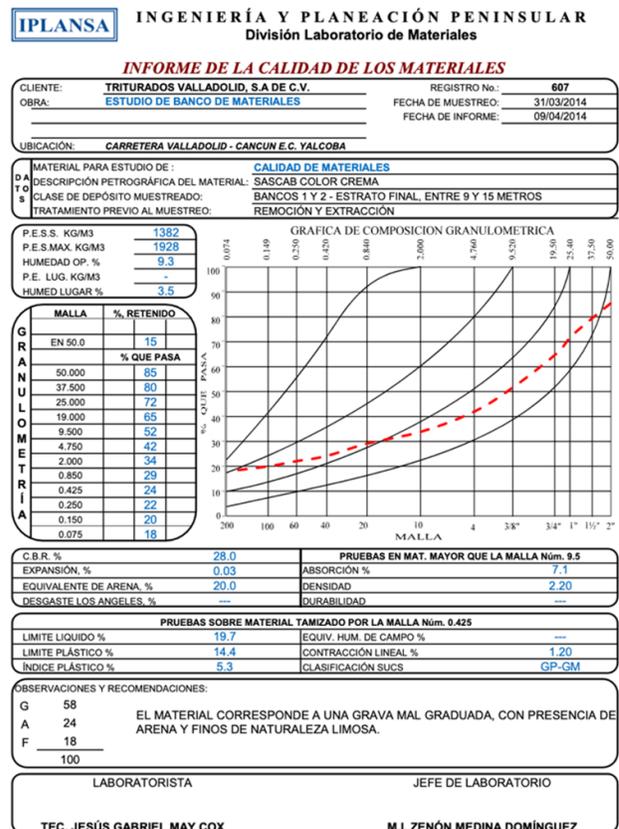
particulares como se aprecia en la figura 1, de entre las que destacan:

Alto contenido de material arenoso o fino de naturaleza limosa (mayor al 18%).

- Peso específico entre los 1,300 y 1,400 kg/m³.
- Alto porcentaje de humedad (mayor al 9%).
- Alto porcentaje de absorción de agua (mayor al 7%).
- Alto contenido de carbonatos de calcio (CaCo₃).

Figura 1

Caracterización mecánica y curva granulométrica del material sascab.



Fuente: obtenido del estudio geotécnico del subsuelo de la mina X-Kanakú, implementado por Ingeniería y Planeación Peninsular S. de R.L. de C.V., 2014

De acuerdo con la norma oficial mexicana NMX-C-111-ONNCE (2018), "Agregados para concreto hidráulico-especificaciones y métodos de ensayo", las características físicas que presenta el material sascab no son adecuadas para ser un agregado de buena calidad dentro de la mezcla de concreto utilizado en la producción de blocks, bovedillas y viguetas, principales productos comercializados por la empresa Trivasa.

Dicha norma indica que la arena debe tener como máximo 8% de material fino dentro de su composición, mientras que la grava no debe sobrepasar el 3% del mismo parámetro. El material sascab, al tener un porcentaje mayor al 18% de contenido de material fino dentro de su composición, no cumple con este parámetro marcado por la norma.

En relación con el porcentaje de humedad, la arena debe tener contenidos de entre 2% a 6%, mientras que la grava debe estar entre el 0.5% y 3%. El sascab de la mina X-Kanakú, al tener porcentajes de humedad mayores al 9%, no cumple con este parámetro indicado por la norma.

Por tal motivo, la problemática de este proyecto de innovación se centra en el desaprovechamiento de los grandes volúmenes de material sascab generados en el proceso de extracción de material pétreo de la mina X-Kanakú de la empresa Trivasa, debido a sus propiedades físicas no aptas para ser utilizado en los diversos procesos productivos de la empresa, al no cumplir con los parámetros de calidad indicados por la norma NMX-C-111-ONNCCE (2018).

Lo anterior ocasiona diversos efectos negativos en la empresa destacando principalmente el impacto financiero en los costos de extracción de materia prima al generarse aproximadamente 350,000 m3 anuales de material sascab, la reducción del espacio disponible en almacén de la mina para otros agregados y un impacto financiero por reserva minera no aprovechada de este material con aproximadamente 5.33 millones de m3.

Dada la problemática antes descrita, el principal objetivo de este proyecto es el desarrollo de un prototipo de pegazulejo para baldosas, utilizando el material sascab obtenido de la mina X-Kanakú de la empresa Trivasa, como agregado fino dentro de su composición.

A través de este proyecto se busca generar una nueva línea de productos que aprovechen la reserva minera de material sascab, y de este modo, puedan satisfacer las necesidades de un segmento de clientes claramente identificado por la empresa, los cuales van desde clientes minoristas, también denominados clientes de la autoconstrucción, hasta clientes mayoristas como constructoras, vivienderos y distribuidores. De igual modo, a través de estos nuevos productos, se tendrá la posibilidad de incursionar en nuevos canales de distribución y comercialización como tiendas minoristas centradas en productos para el hogar o empresas de retail.

II. METODOLOGÍA

El proceso experimental para la elaboración del prototipo de pegazulejo con material sascab, implementado del mes de septiembre de 2021 al mes de junio de 2022 por el departamento de innovación de la empresa Trivasa en la Ciudad de Valladolid, Yuactán, estuvo conformado por 4 etapas: la caracterización física del material sascab, la caracterización física de tres productos de la competencia, el desarrollo del prototipo experimental y la validación técnica de dicho prototipo

III. RESULTADOS O AVANCES

3.1 Etapa 1: Caracterización física del material sascab

El objetivo de esta primera etapa se centró en obtener la curva granulométrica del material sascab para su caracterización. Mediante el análisis granulométrico se pudo identificar cómo se encuentran distribuidas las partículas de este material de acuerdo con su tamaño y, a través de esta caracterización, determinar con mayor facilidad los porcentajes o proporciones a utilizar, por cada uno de los tamaños de partícula del material, en el diseño de fórmula del prototipo.

Para ello, se empleó el método de análisis granulométrico basado en la norma oficial mexicana NMX-C-077-ONNCCE (2019), "Industria de la construcción- Agregados para concreto-Análisis granulométrico- Método de ensayo". En la tabla 1, se muestran los valores obtenidos del cribado de una muestra representativa de material sascab con la ayuda de un

Tabla 1
Análisis granulométrico del material sascab.

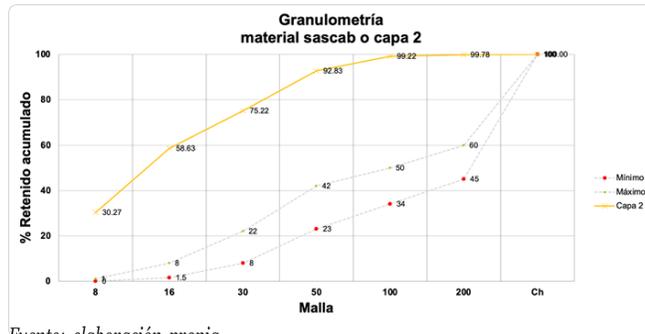
Malla	Abertura (mm)	Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado
4	4.76	15	1.68	1.68	98.32
8	2.38	255	28.59	30.27	69.73
16	1.19	253	28.36	58.63	41.37
30	0.60	148	16.59	75.22	24.78
50	0.36	157	17.60	92.83	7.17
70	0.212	42	4.71	97.53	2.47
80	0.180	11	1.23	98.77	1.23
100	0.150	4	0.45	99.22	0.78
120	0.125	3	0.34	99.55	0.45
200	0.106	2	0.22	99.78	0.22
Tara		2	0.22	100.00	
Total		892	100.00		

Fuente: elaboración propia.

En la tabla se presentan los pesos retenidos en gramos por cada número de malla, así como el porcentaje de material retenido, el porcentaje de material retenido acumulado y el porcentaje de material que pasa por cada una de estas. Para graficar la curva granulométrica del material sascab, se usaron los datos del porcentaje de material retenido acumulado en las mallas número 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola como se muestra en la figura 2.

Figura 2.

Curva granulométrica del material sascab.



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica anterior, se plasman los límites máximos y mínimos que deben cumplir los agregados finos en las mezclas de concreto, señalados por la norma mexicana NMX-C-077-ONNCCCE (2019).

Como se observa en la gráfica, el material sascab posee un alto contenido de partículas finas en porcentajes mayores a 99% en las mallas 100 y 200. Asimismo, su curva granulométrica se encuentra fuera de los límites permitidos para la elaboración de mezclas de concreto. Para el diseño de fórmula del prototipo de pegazulejo, se determinarán las dosificaciones adecuadas de sascab con la finalidad de obtener una granulometría con valores ubicados dentro de los límites permitidos por la norma.

3.2 Etapa 2: Caracterización física de los productos de la competencia

Con la finalidad de obtener un modelo o producto testigo que sirva como punto de partida en el diseño de fórmula del prototipo de pegazulejo empleando el material sascab, fue necesario caracterizar tres productos similares de la competencia. Los productos seleccionados como testigos pertenecen a tres marcas referentes y con gran posicionamiento en la industria de la construcción regional. Para efectos de este trabajo, se nombrarán a los tres productos pegazulejos de la competencia como PA, PB y PC.

Las propiedades físicas que se estudiaron en estos tres productos fueron el análisis granulométrico y la resistencia a la compresión.

Para obtener las granulometrías de los tres productos de la competencia, se empleó el procedimiento establecido por la norma oficial mexicana NMX-C-077-ONNCCCE (2019) para el cribado de las muestras representativas de cada uno de estos productos con la ayuda de un juego de mallas de agregado fino. En las tablas 2, 3 y 4, se muestran los valores obtenidos en los ensayos de granulometría de los pegazulejos de la competencia.

Tabla 2.

Análisis granulométrico del pegazulejo PA.

Malla	Abertura (mm)	Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado
30	0.60	80.1	13.24	13.24	86.76
50	0.36	159.7	26.40	39.64	60.36
70	0.212	151.4	25.02	64.66	35.34
80	0.180	89.1	14.73	79.39	20.61
100	0.150	63.6	10.51	89.90	10.10
120	0.125	42.4	7.01	96.91	3.09
140	0.106	10.9	1.80	98.71	1.29
200	0.090	4.9	0.81	99.52	0.48
Charola		2.9	0.48	100.00	
Total		605.0	100.00		

Nota: Elaboración propia

Tabla 3.

Análisis granulométrico del pegazulejo PB.

Malla	Abertura (mm)	Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado
30	0.60	77	12.46	12.46	87.54
50	0.36	133.6	21.61	34.07	65.93
70	0.212	114.8	18.57	52.65	47.35
80	0.180	172.4	27.89	80.54	19.46
100	0.150	75.2	12.17	92.70	7.30
120	0.125	24.4	3.95	96.65	3.35
140	0.106	11.9	1.93	98.58	1.42
200	0.090	4.8	0.78	99.35	0.65
Charola		4	0.65	100.00	
Total		618.1	100.00		

Nota: Elaboración propia

Tabla 4.

Análisis granulométrico del pegazulejo PC.

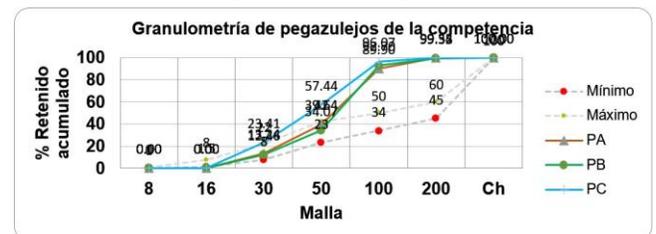
Malla	Abertura (mm)	Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa Acumulado
30	0.60	182.2	23.41	23.41	76.59
50	0.36	264.8	34.03	57.44	42.56
70	0.212	134.5	17.28	74.72	25.28
80	0.180	120.5	15.48	90.21	9.79
100	0.150	45.6	5.86	96.07	3.93
120	0.125	15.1	1.94	98.01	1.99
140	0.106	9.6	1.23	99.24	0.76
200	0.090	2.3	0.30	99.54	0.46
Charola		3.6	0.46	100.00	
Total		778.2	100.00		

Nota: Elaboración propia

Para graficar la curva granulométrica de los tres productos pegazulejos de la competencia, se usaron los datos del porcentaje de material retenido acumulado en las mallas número 30, 50, 100, 200 y charola como se muestra en la figura 3.

Figura 3.

Curvas granulométricas de pegazulejos de la competencia.



Nota: Elaboración propia

Como se observa en la gráfica anterior, los tres productos pegazulejos de la competencia poseen granulometrías con contenidos de partículas finas entre 89% a 96% en la malla 100. De igual manera, se puede apreciar que los porcentajes de material retenido en las mallas 30 y 50 de los pegazulejos PA y PB se encuentran dentro de los límites permitidos para el desarrollo de mezclas de concreto. Sin embargo, a partir de la malla 100 a charola sus porcentajes se disparan ocasionando que sus curvas granulométricas no cumplan por completo con dichos límites.

La segunda propiedad física evaluada en cada una de las muestras de los productos de la competencia fue el análisis de resistencia a la compresión basado en la norma oficial mexicana NMX-C-083-ONNCCE (2014), "Industria de la construcción-Concreto-Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes-Método de ensayo".

Para efectuar esta prueba fue necesario preparar la mezcla de cada producto de la competencia añadiéndole la cantidad de agua indicada por las etiquetas de cada uno de estos. Una vez preparadas las mezclas, se procedió a elaborar los especímenes para las pruebas de resistencia, colocando un poco de la muestra dentro de moldes cilíndricos de metal, para posteriormente, dejarlos secar durante 28 días.

El valor de resistencia a la compresión del pegazulejo PA, como se observa en las figuras 4 y 5 fue de $4,125 \frac{Kg}{dm^2}$ o $41.25 \frac{Kg}{cm^2}$.

Figura 4 y 5.

Prueba de resistencia a la compresión del pegazulejo PA.



Fuente: imágenes obtenidas de la empresa Trivasa S.A. de C.V.,2022.

Por otro lado, el valor de resistencia a la compresión del pegazulejo PB, como se observa en las figuras 6 y 7 fue de $3,970 \frac{Kg}{dm^2}$ o $39.70 \frac{Kg}{cm^2}$.

Figura 6 y 7.

Prueba de resistencia a la compresión del pegazulejo PB.



Fuente: imágenes obtenidas de la empresa Trivasa S.A. de C.V.,2022.

A su vez, el valor de resistencia a la compresión del pegazulejo PC, como se observa en las figuras 8 y 9 fue de $3,991 \frac{Kg}{dm^2}$ o $39.91 \frac{Kg}{cm^2}$.

Figura 8 y 9.

Prueba de resistencia a la compresión del pegazulejo PC.



Fuente: imágenes obtenidas de la empresa Trivasa S.A. de C.V.,2022.

3.3 Etapa 3: Desarrollo de prototipo experimental

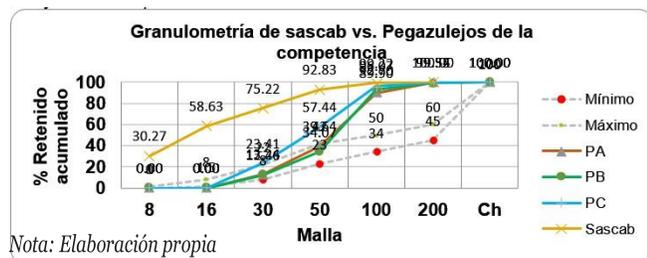
Como primer paso en el desarrollo del prototipo de pegazulejo utilizando el material sascab como parte de su composición, fue la obtención de un referente o modelo que sirva como punto de partida para establecer los porcentajes iniciales de dosificación.

Para ello, fue necesario comparar las curvas granulométricas de este material contra las de los productos pegazulejos de la competencia.

En la figura 10 se muestra la comparativa entre las curvas granulométricas del sascab contra las de los tres productos pegazulejos de la competencia. En esta gráfica se puede apreciar como la granulometría del material sascab difiere, en la mayor parte de su curva, con respecto a las granulometrías de los productos pegazulejos de la competencia. Sin embargo, los porcentajes de material retenido en la malla 100, tanto de este material como de los productos de la competencia, se asemejan en sus valores, indicando con esto, que los cuatro poseen alto contenido de partículas finas de entre 89% y 99%.

Figura 10.

Gráfica comparativa de las curvas granulométricas entre el material sascab y los productos pegazulejos de la competencia.



Nota: Elaboración propia

Para determinar los porcentajes de dosificación empleados en la fórmula, primero fue necesario diseñar la granulometría a usar en dicho prototipo. De acuerdo con la curva granulométrica del producto testigo PA, y considerando que el prototipo a desarrollar debe cumplir con los límites máximos y mínimos señalados por la norma mexicana NMX-C-077-ONNCCE (2019), la granulometría de este último debe tener un mayor porcentaje de retenido acumulado en las mallas 100, 200 y charola. Para ello, fue necesario comenzar el diseño de la granulometría con un porcentaje de retenido individual de entre el 23% y 42% en la malla 50.

Con la finalidad de seguir incrementando el porcentaje de retenido acumulado en las mallas 100, 200 y charola, sin omitir que los límites permitidos por la norma NMX-C-077-ONNCCE (2019) para el porcentaje retenido acumulado en la malla 200 es de entre el 45% y 60%, se definieron valores

de porcentaje retenido individual de entre el 8% y 27% para la malla 100 y de entre el 10% y 26% para la malla 200. En la tabla 5, se muestra el diseño granulométrico para el prototipo pegazulejo P1 con material sascab.

Tabla 5.

Diseño granulométrico del prototipo de pegazulejo con material sascab.

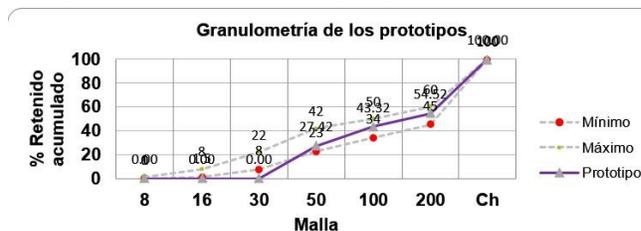
Malla	Retenido (gr)	(%) Retenido Individual	(%) Retenido Acumulado	(%) Pasa Acumulado
3/8"	0	0	0	100
No. 4	0	0	0	100
No. 8	0	0	0	100
No. 16	0	0	0	100
No. 30	0	0	0	100
No. 50	209.1	27.42	27.42	72.58
No. 100	121.3	15.90	43.32	56.68
No. 200	85.4	11.20	54.52	45.48
Charola	346.9	45.48	100.00	0
Total	762.7	100.00		

Nota: Elaboración propia

De igual manera, en la figura 11 se observa la curva granulométrica de dicho prototipo.

Figura 11.

Curva granulométrica del prototipo de pegazulejo P1 con material sascab.



Nota: Elaboración propia

El diseño granulométrico anterior se propuso con la finalidad de brindarle al prototipo una mayor manejabilidad y una consistencia más fluida, características esenciales que deben de tener los pegazulejos para cumplir con las necesidades de los usuarios finales. Para evitar los problemas de resistencia que pudieran surgir en el prototipo por la falta de agregado grueso en el diseño de fórmula, fue necesario agregar entre un 16% y 17% de cemento gris como materia prima. Asimismo, para mejorar las propiedades de adherencia, manejabilidad y fluidez del prototipo, se adicionaron a la fórmula dos aditivos líquidos en porcentajes de entre 0.16% y 0.18% para el aditivo 1, y de entre 0.07% y 0.08% para el aditivo 2.

3.4 Etapa 4: Validación de prototipo experimental

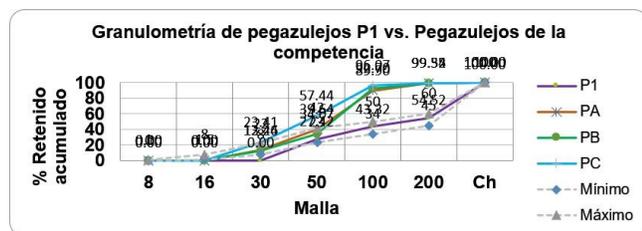
Para validar la factibilidad técnica del prototipo desarrollado, fue necesario someterlo a pruebas de resistencia a la compresión. Para ello, se preparó la mezcla de este producto añadiéndoles 4 litros de agua a una muestra de 20 kilogramos. Una vez obtenida la mezcla, se conformaron los especímenes para las pruebas de resistencia a la compresión de acuerdo con la norma NMX-C-083-ONNCCE (2014), y finalizado el tiempo de curado de 28 días, estos fueron enviados a un laboratorio externo para la aplicación de los ensayos de resistencia.

Concluida la validación del prototipo desarrollado, se analizaron los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio con la finalidad de determinar si es técnicamente factible para ser producido en masa, y posteriormente, lanzado al mercado. Para ello, fue necesario comparar los resultados de granulometría y resistencia a la compresión entre el prototipo experimental y los productos de la competencia.

Como se aprecia en la figura 12, la granulometría del prototipo de pegazulejo P1 con material sascab cumple, en la mayor parte de su curva, con los límites máximos y mínimos permitidos por la norma NMX-C-077-ONNCCE (2019) para el desarrollo de mezclas de concreto. De igual manera, dicho prototipo contiene porcentajes de material retenido en la malla 50 muy parecidos a los productos de la competencia. Sin embargo, a partir de la malla 100, los porcentajes de material retenido en el prototipo adquieren valores muy distintos a los otros tres productos. Si bien estos últimos presentan un salto abrupto de la malla 50 a la 100, el prototipo de pegazulejo P1 tiene la tendencia a mantener sus porcentajes dentro de los límites, conservando cantidades adecuadas de partículas finas en las últimas mallas.

Figura 12.

Gráfica comparativa de las curvas granulométricas entre el prototipo de pegazulejo P1 y los productos pegazulejos de la competencia.



Nota: Elaboración propia

El segundo análisis comparativo de estos productos se centra en los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión. Como se aprecia en la tabla 6, la muestra con mejor resultado fue el pegazulejo PA con 41.25 Kg/cm². Asimismo, el prototipo pegazulejo P1 obtuvo la resistencia más baja en comparación con las de los otros tres productos

de la competencia, lo anterior puede deberse a contenidos más altos de cemento en la fórmula de estos últimos. Aún cuando el resultado de resistencia a la compresión del prototipo pegazulejo P1 haya sido el más bajo, la diferencia entre este y el producto testigo PA es de 3.25 Kg/cm², lo que puede considerarse como una discrepancia mínima al encontrarse en rangos de valores muy cercanos con relación a los otros dos productos de la competencia.

Tabla 6.

Comparativa de resultados de resistencia a la compresión entre el prototipo de pegazulejo P1 y los productos pegazulejos de la competencia.

Producto	Pegazulejo PA	Pegazulejo PB	Pegazulejo PC	Prototipo pegazulejo P1
Resistencia a compresión 28 días (Kg/cm ²)	41.25	39.70	39.91	38.00

Nota: Elaboración propia

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis granulométrico y de las pruebas de resistencia a la compresión realizados, tanto al prototipo de pegazulejo P1 con material sascab como a los otros tres productos de la competencia, se puede concluir que el material sascab es técnicamente factible para ser utilizado como agregado o materia prima, en la producción de un pegazulejo para baldosas o losetas, utilizando las dosificaciones determinadas en su diseño de fórmula.

Cabe destacar, que el diseño granulométrico del prototipo de pegazulejo con material sascab cumple con los límites permitidos por la norma mexicana NMX-C-077-ONNCCE (2019) y adicionalmente, posee una resistencia a la compresión con una diferencia mínima en comparación con los valores de resistencia de los productos de la competencia, con lo cual, se puede comprobar la factibilidad técnica para su uso de manera comercial. Sin embargo, en la siguiente etapa de este proyecto de innovación se buscará validar la deseabilidad comercial de este prototipo, evaluando su funcionalidad en aplicaciones reales por parte de usuarios finales. Para ello, se empleará la metodología de innovación conocida como Design Thinking o “diseño pensado en el cliente”, para obtener las percepciones cualitativas y necesidades más importantes de los usuarios finales, para posteriormente, realizar ajustes en el diseño de fórmula.

A lo largo de este proyecto se presentaron varios obstáculos como consecuencia de la pandemia de COVID-19, destacando la falta de disponibilidad de los laboratorios externos para realizar las pruebas de resistencia a los especímenes desarrollados, debido al cierre de actividades no esenciales. Asimismo, se presentó una restricción en el número de personas o afluencia para realizar las pruebas en el laboratorio de materiales de la empresa y se suscitaron retrasos en el cronograma de proyecto por el periodo de aislamiento indicado por las autoridades sanitarias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán [DOF] (2021, 30 de diciembre). Decreto 441/2021 por el que se emite el Presupuesto de Egresos del Gobierno del Estado de Yucatán para el Ejercicio Fiscal 2022. https://www.yucatan.gob.mx/docs/diario_oficial/diarios/2021/2021-12-30_2.pdf
- Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J. J., Álvarez-Rivera, O., & Barrientos-Medina, R. C. (2019). El karst de Yucatán: su origen, morfología y biología. *Acta Universitaria*, 29. 1-18. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2292>
- Ford, D., & Williams, P. (2007). *Karst Hydrology and Geomorphology*. England: Jhon Wiley & Sons Ltd.
- Littmann, E. (1958). Ancient Mesoamerican Mortars, Plasters, and Stuccos: The composition and origin of sascab. *American Antiquity*, 24(2), 172-176. <https://doi.org/10.2307/277478>
- Lorenzo, F., & Carrascosa, B. (2019). Influencia de los aditivos orgánicos naturales en la resistencia a la cristalización de sales en morteros tradicionales de cal con distinto árido. Análisis del caso: sitio arqueológico La Blanca, Petén, Guatemala. *Devenir - Revista de Estudios Sobre Patrimonio Edificado*, 6(12), 11-26. <https://doi.org/10.21754/devenir.v6i12.741>
- Martínez, M., & Guerrero, L. (2020). Uso tradicional de morteros con chucum en la península de Yucatán, México. *Journal of Traditional Building*, 1, 498-508. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7667672>
- NMX-C-077-ONNCCE-2019. (2019). NORMA Oficial Mexicana NMX-C-077-ONNCCE-2019, Industria de la construcción-Agregados para concreto-Análisis granulométrico- Método de ensayo. Diario Oficial, Secretaría de Economía.
- NMX-C-083-ONNCCE-2014. (2014). NORMA Oficial Mexicana NMX-C-083-ONNCCE-2014, Industria de la construcción-Concreto-Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes-Método de ensayo. Diario Oficial, Secretaría de Economía.
- NMX-C-111-ONNCCE-2018. (2018). NORMA Oficial Mexicana NMX-C-111-ONNCCE-2018, Industria de la Construcción-Agregados para concreto hidráulico-Especificaciones y métodos de ensayo. Diario Oficial, Secretaría de Economía.
- Pacheco, M., & Alonzo, S. (2003). Caracterización del material calizo de la formación Carrillo Puerto en Yucatán. *Ingeniería*, 7(1), 7-19. Obtenido de <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen7/caracterizacion.pdf>
- Perry, E., Velazquez-Oliman, G., & Marín, L. (2002). The hydro-geochemistry of the karst aquifer system of the northern Yucatan Peninsula, Mexico. *International Geology Review*, 44(3), 191-221. <https://doi.org/10.2747/0020-6814.44.3.191>

