

Protocolo para el reciclaje de los residuos de yesos generados en los procesos de elaboración de prótesis dentales en una institución universitaria de Medellín

Protocol for the recycling of plaster waste generated in the manufacturing processes of dental prostheses in a University Institution of Medellin

Josefina Mosquera Palomino¹, Carlos Ignacio Vélez Gómez²

Citación: Mosquera-Palomino J, Vélez-Gómez CI. Protocolo para el reciclaje de los residuos de yesos generados en los procesos de elaboración de prótesis dentales en una Institución. *Ustasalud* 2023; 22(2): 90-96.

Licencia Creative Commons



La revista Ustasalud declara que su contenido se rige bajo la licencia Creative Commons de Atribución – No comercial – Sin Derivar 4.0 Internacional. Por lo tanto, los lectores pueden acceder libremente a los artículos en su formato .pdf, igualmente podrán descargarlos y difundirlos; sin embargo no podrán modificarlos o alterarlos, adicionalmente se debe reconocer la autoría de las personas que figuran en las publicaciones, pero estas no podrán ser comercializadas.

1 Ingeniera química, magíster en Ingeniería. Institución Universitaria Visión de las Américas. Medellín, Colombia.

2 Tecnólogo en Rehabilitación Dental. Institución Universitaria Visión de las Américas. Medellín, Colombia.

Autor de correspondencia:

Josefina Mosquera Palomino

Correo electrónico:

josefina.mosquera@uam.edu.co

Resumen

Introducción: El yeso utilizado en la elaboración de prótesis dentales es el sulfato de calcio dihidratado $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$ casi puro, debido a que es indispensable para la obtención de modelos de estudio y laboratorio, además, representa un 55% de los residuos generados en los laboratorios dentales, es desechado sin identificar y clasificar; a la fecha, no hay protocolos para su disposición final que permitan su aprovechamiento y potencialidad del material reciclado. **Objetivo:** Realizar un protocolo para el reciclaje los residuos de yeso generados en los procesos de elaboración de prótesis dentales. **Metodología:** Se llevó a cabo una investigación experimental de enfoque cuantitativo. Las etapas del proceso de reciclaje fueron: recolección, cuantificación de los residuos de yesos tipo II, III, IV, limpieza, trituración, pre-secado, tamizado, pesaje, empaçado y rotulación del material reciclado. Además, se elaboraron probetas cilíndricas de 20 mm de diámetro con 40 mm de altura que sirvieron para someter el material a pruebas mecánicas. **Resultados:** Luego de establecer un protocolo de adecuación de los residuos de yeso, el material se sometió a ensayos mecánicos y de acuerdo con las pruebas mecánicas de la Norma Técnico Colombiana NTC 562 de materiales dentales - yeso dental, el material reciclado tiene buenas propiedades mecánicas. **Conclusiones:** Se estableció un protocolo de adecuación del yeso reciclado y un protocolo para procedimientos de laboratorio en los cuales se puede utilizar el material reciclado, contribuyendo de esta forma al desarrollo sostenible y calidad ambiental en los procesos de elaboración de prótesis dentales.

Palabras clave: Yeso dental; prótesis dental; reciclaje; desarrollo sostenible; cambios climáticos.

Abstract

Introduction: The plaster used in the manufacture of dental prostheses is almost pure hydrated calcium sulfate $\text{CaSO}_4(2\text{H}_2\text{O})$, because it is essential to obtain study and laboratory models, and also represents 55% of the waste generated. In dental laboratories, it is discarded without identifying and classifying it; to date, there are no protocols for its final disposal that allow its use and potential of the recycled material. **Objective:** Carry out a protocol for the recycling of plaster residues generated in the processes of manufacturing dental prostheses. **Methodology:** An experimental research with a quantitative approach was carried out. The stages of the recycling process were: collection, quantification of type II, III, IV plaster residues, cleaning, crushing, pre-drying, sifting, weighing, packaging and labeling of the recycled material. In addition, cylindrical specimens of 20 mm in diameter and 40 mm in height were made, which served to subject the material to mechanical tests. **Results:** After establishing a protocol for the adequacy of plaster residues, the material was subjected to mechanical tests and according to the mechanical tests of the Colombian Technical Standard NTC 562 of dental materials - dental plaster, the recycled material has good mechanical properties. **Conclusions:** A protocol for the adequacy of recycled plaster and a protocol for laboratory procedures in which recycled material can be used were established, thus contributing to sustainable development and environmental quality in the manufacturing processes of dental prostheses.

Keywords: Dental plaster; dental prosthesis; recycling; sustainable development; climate change

Recibido:
6 de julio de 2023
Aceptado:
18 de agosto de 2023
Publicación en línea:
18 de octubre de 2023

INTRODUCCIÓN

El yeso es un mineral que hace parte de los materiales cerámicos, compuesto principalmente por sulfato de calcio, agua e impurezas resultantes de los diferentes procesos de cocción. Se presenta en forma hidratada ($\text{CASO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{CASO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) y la anhidrita (CASO_4), que es el sulfato más abundante en la naturaleza [1]. La Asociación Dental Americana (ADA) clasifica los yesos dentales ($\text{CASO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) desde el tipo I hasta el tipo V, siendo este último el más novedoso, caracterizado por alta resistencia a la compresión [2].

Cuando los residuos de yeso entran en contacto con residuos orgánicos y exposición a la lluvia, en ambiente anaeróbico se genera la emisión de sulfuro de hidrógeno, gas altamente tóxico, con impactos medioambientales negativos [3]. Además, se altera la alcalinidad del suelo y se contamina el lecho freático o sea la parte del suelo saturada de agua y la más expuesta a la contaminación que proviene de la superficie [4].

El reciclaje tiene beneficios ambientales, sociales y económicos reflejados en ahorro de energía, materias primas de calidad a menor costo, disminución de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global, en general se mejora la calidad de vida de la población mundial [5]. Colombia, en consistencia con los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas 2020-2030, pretende avanzar en políticas de reciclaje, reducción del impacto ambiental a partir de la reincorporación de desechos al ciclo económico [6].

Estudios demuestran que el yeso reciclado tiene variedad de aplicaciones en sectores productivos (albañilería, prefabricación de ladrillos, férulas para fracturas, industria del papel, moldes ortopédicos) y en agricultura (estabilidad y fortalecimiento de propiedades del suelo) [7]. En el área de laboratorio dental, se han venido implementando acciones con el reciclaje de excedentes metálicos generados en la elaboración de prótesis dentales [8]. No obstante, persiste una deficiente disposición de los residuos de yeso generados en la elaboración de prótesis dentales sumado al poco conocimiento acerca del reciclaje de este material [9], lo cual podría reducir los impactos en el medio ambiente.

Como antecedente de la estrategia de reutilización de los residuos de yeso, se dispone de la experiencia de la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, donde se

probaron técnicas adecuadas en la recuperación de yesos dentales [10], y el Programa de Tecnología de Laboratorio Dental en la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga, donde con la aplicación de conceptos de *economía circular*, se elaboró la matriz de impactos ambientales para los residuos generados en la realización de prótesis dentales, entre ellos los de yeso [11]. En literatura menos reciente hay a nivel internacional estudios acerca del conocimiento que tienen los estudiantes del proceso de reciclaje del yeso [12]. Sin embargo, no se encontraron estudios donde se establezca un protocolo de adecuación de los residuos de yeso dental para un proceso de reciclaje.

Si se realiza un protocolo adecuado para el reciclaje de los residuos de yeso generado en los procesos de elaboración de las prótesis dentales, el material reciclado puede tener características físicas y mecánicas similares al yeso convencional a un costo relativamente más bajo y el material reciclado se puede utilizar en procedimientos de laboratorio como son modelos de estudio, montajes en articulador, zócalos, entre otros, lo que significaría un beneficio económico para los estudiantes y laboratoristas dentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación experimental, de enfoque cuantitativo, el tipo de estudio es descriptivo de corte transversal y prospectivo, donde el objeto de estudio es el yeso como material de desperdicio en los procesos de elaboración de prótesis dentales. Se siguió el siguiente procedimiento: se ubicaron canecas debidamente rotuladas en cada uno de los laboratorios de prótesis dental de la universidad para la recolección de los residuos de yesos dental generados durante 4 meses. Se cuantificó el yeso recolectado. Luego se lavaron los residuos con suficiente agua para quitar los excesos de cera, separador y diferentes contaminantes; paso seguido, los residuos fueron triturados con martillos en partes pequeñas y llevados a una parrilla donde se calcinó el yeso a fuego medio hasta obtener una tonalidad blanquecina (Figura 1a); luego se pasaron a un horno a una temperatura de 120°C , con el fin de eliminar el exceso de agua, de allí el material se llevó a un molino eléctrico, donde se molió 4 veces para obtener un tamaño de grano fino y uniforme, se pasó luego por un tamiz de grano fino (Figura 1b); se calcinó de nuevo en el fogón a fuego medio durante 15 minutos (revolviendo el yeso ocasionalmente). Se dejó enfriar y por último se pesó, empacó en bolsas plásticas con cierre hermético y se rotuló por kilos (Figura 1c).

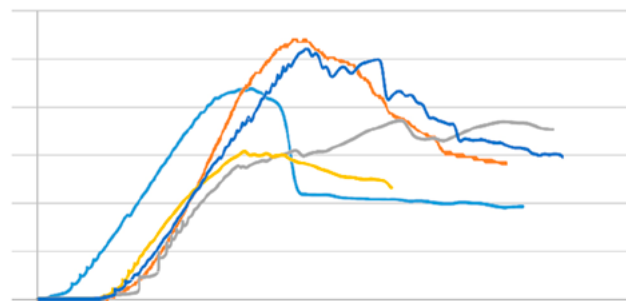
Figura 1. Protocolo de adecuación del yeso. A. Etapa de recolección a calcinación; B. Molido y tamizaje del yeso; C. Calcinación, pesado y rotulación del yeso.



Con el yeso reciclado se elaboraron probetas cilíndricas de 20 mm de diámetro con 40 mm de altura que sirvieron para someter el material a pruebas mecánicas *in vitro*. El equipo utilizado para este ensayo fue la máquina de ensayos universales Shimadzu AGS-X de 50 KN. El procedimiento se realizó siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana de materiales dentales - yesos dentales NTC 562. La velocidad de aplicación de carga fue de 5 KN/min tal como dice la Norma NTC 562.

Fue necesario someter el material reciclado a ensayos mecánicos, con el fin de saber su comportamiento ante la acción de los diferentes tipos de fuerzas. En este caso el yeso reciclado se sometió a compresión uniaxial (Figura 2), denominada resistencia compresiva e indica la capacidad para soportar una carga externa por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en Mpa, kg/cm², y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) [13]. La resistencia compresiva es apropiada para evaluar materiales como los yesos dentales al ser materiales cerámicos en su estructura interna tienen muchos defectos e irregularidades que los hace quebradizos y muestran resultados relativamente bajos cuando se les somete a tensión [14]. La medición de esta propiedad en el material reciclado nos indicaría en qué procedimientos se puede utilizar.

Figura 2. Curvas de compresión uniaxial para las muestras de yeso.



Se estableció un protocolo de adecuación del yeso reciclado y para elaborar modelos de trabajo, zócalos, formaletas y montajes de articulador, procedimientos de elaboración de prótesis dental donde mejor funciona el material reciclado (Figura 1).

El proyecto fue aprobado por el Comité Central de Investigación de la Institución Universitaria Visión de las Américas y fue considerado como investigación de riesgo mínimo, tuvo financiación interna de la Universidad, su código de aceptación fue PS017-2019.

RESULTADOS

Resultado de ensayos de compresión en probetas de yeso

El equipo utilizado para este ensayo fue la máquina de ensayos universales Shimadzu AGS-X de 50 KN. El procedimiento se realizó siguiendo los lineamientos de las normas NTC 562 (materiales dentales, yeso dental) [15].

Se evaluaron cinco muestras, las cuales fueron cinco cilindros de 20 mm de diámetro con 40 mm de altura, como muestra la Figura 3, y la velocidad de aplicación de carga fue de 5 KN/min tal como dice la norma NTC 562. Se determinó que las muestras tienen un comportamiento catalogado como normal, según la forma de la curva como lo categoriza la norma NTC 562.

Figura 3. Muestras de yeso para compresión axial.



Los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas realizadas al material reciclado tienen un comportamiento catalogado como normal, de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 562 de materiales dentales - yesos, con valores promedio del módulo elástico de 303,62 Mpa y resistencia última a la compresión de 4,35 Mpa (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de propiedades a compresión de las muestras de yeso

Medida	Módulo elástico Mpa	Resistencia última a la compresión Mpa
1	306,08	439
2	305,89	5,19
3	289,76	3,05
4	328,36	5,44
5	288,01	3,7
Promedio	303,7	4,35

En la tabla 2 se muestra el indicador verificable de la presente investigación, para 18 Kg de residuos de yeso recolectado durante 4 meses, el cual es mayor de 1, significa que hay impacto en la disminución de los residuos de yeso en los procesos de elaboración de prótesis dentales, contribuyendo al desarrollo sostenible y calidad ambiental desde la profesión de Laboratorista Dental.

Tabla 2. Características de los procedimientos de elaboración de prótesis dental realizados con yeso reciclado

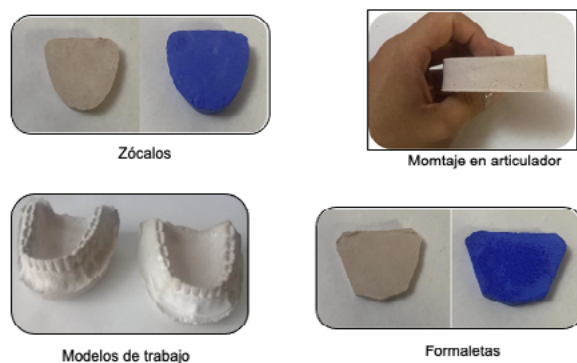
Yeso	Kg de residuos recolectados	Kg de yeso reciclado	Kg de residuos recolectados/Kg de yeso reciclado
Mezcla de yesos tipo II, III, IV	18	10	18/10 = 1,8

Finalmente, se presentan las características de las pruebas realizadas para la elaboración de prótesis dental con yeso reciclado (Figura 4 y Tabla 3).

Tabla 3. Características de los procedimientos de elaboración de prótesis dental realizados con yeso reciclado

Prueba realizada	Relación yeso/agua (g/ml)	Tiempo final de fraguado
Zócalo	50g/30 ml	25 minutos
Enmuflado	100g /58 ml	45 minutos
Montaje en articulador	100g/44 ml	25 minutos
Formaletas	50g/23ml	38 minutos
Modelo de trabajo	70g/35ml	45 minutos

Figura 4. Procedimientos de elaboración de prótesis dental realizados con yeso reciclado.



DISCUSIÓN

Se realizó un protocolo para el reciclaje de los residuos de yeso generados en la elaboración de prótesis dentales. Se tuvo en cuenta las variables que influyen en el manejo de los yesos, como tiempo de fraguado, relación agua - yeso, espatulado, almacenaje y temperatura, las cuales van a determinar la resistencia del producto final [14]. Con el material reciclado se hicieron probetas de yeso que fueron sometidas a una prueba *in vitro* de resistencia compresiva, donde el resultado obtenido fue catalogado como normal de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 562 de materiales dentales - yesos (Tabla 1 y Figura 3), en la revisión de literatura no se encuentran estudios recientes que reporten la evaluación de esta propiedad para yesos reciclados, solo se encontró un estudio donde se compara la resistencia compresiva y la dureza superficial del yeso tipo IV utilizando agua potable y destilada, concluyendo que no existe diferencia significativa ($p=0,086$) en la resistencia compresiva entre los grupos de yeso tipo IV con agua potable y destilada. La resistencia a la compresión está asociada a varios factores, entre ellos la relación agua-polvo (A/P); es decir, mientras menor fuera la relación A/P mayor sería la resistencia compresiva del yeso de tipo IV, también denominado yeso piedra [14].

La relación agua yeso y el espatulado son factores que dependen del operador. En la relación agua-yeso: a mayor cantidad de agua, más fluida es la mezcla, por lo tanto, mayor tiempo de fraguado. Mientras que en el espatulado: a mayor espatulado, se acelera la reacción química entre el yeso y el agua, esta se manifiesta por la alta exotermia en el recipiente donde se hace la mezcla, se forman más rápido los cristales y es menor el tiempo de fraguado, es indispensable conocer el correcto manejo de las proporciones y manipulación del yeso para evitar cambios en sus propiedades físicas-mecánicas. En la Tabla 2 se muestran los procedimientos de elaboración de prótesis dentales donde se ensayó el yeso reciclado, con la respectiva relación yeso/agua y el tiempo de fraguado. Es importante señalar que en este estudio se hicieron varias pruebas de ensayo y error hasta llegar al promedio de relación yeso/agua y de tiempo de fraguado más adecuado para cada procedimiento (Figura 4).

La dureza, la resistencia a compresión, y estabilidad dimensional de los yesos dentales son parámetros mecánicos y químicos para tener en cuenta, que resultan críticos en el éxito clínico del trabajo diario de confección de pró-

tesis dentales, se hace necesario evaluar estos parámetros para ver si cumplen con los establecidos por la Asociación Dental Americana (ADA) [16]. En este estudio solo se evaluó la resistencia a la compresión, por lo tanto, se recomienda realizar mediciones de dureza y estabilidad dimensional en los procedimientos de laboratorio donde se utilizó el material reciclado.

También, el tamaño del grano es un factor de fraguado que depende del proceso de elaboración, a menor tamaño de partículas el agua penetra más rápido en ellas y se acelera la reacción química; se forman mayor cantidad de núcleos de cristalización y se disminuye el tiempo de fraguado [14]. En el estudio, para tener un tamaño de grano adecuado del yeso reciclado, este se pasó por el molino cuatro veces y luego por un tamiz de grano fino, sin embargo, esta no es la forma más correcta de medición de esta característica, se recomienda realizar pruebas de granulometría y de cribado en diferentes tipos de malla para tener la distribución promedio del grano del yeso reciclado de forma más precisa.

CONCLUSIONES

El protocolo establecido para la adecuación de yeso permitió obtener de 10 Kg de yeso reciclable, con un indicador verificable inicialmente de 1,8 para el material recolectado durante 4 meses.

Se recomienda avanzar en estudios similares que permitan medir otras características del yeso dental reciclado, como la dureza, estabilidad dimensional y tamaño de grano para poder ensayarlo en aplicaciones clínicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Institución Universitaria Visión de las Américas por la financiación del proyecto y a los estudiantes del Semillero de Investigación del Programa Laboratorio de Prótesis Dental SEILAD, Denis Marcela Arias Correa, Natasha Meneses Arias, Davinson Steven Campo Arteaga, Erika Sirley David Sánchez, María Isabel Sierra Monsalve, por la participación en los procesos de adecuación de los residuos de yeso generados en la elaboración de prótesis dentales y al Grupo de Investigación de Materiales y Recubrimientos Cerámicos GIMACYR de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, por la realización de los ensayos de compresión en el yeso reciclado.

REFERENCIAS

- [1] Báez-Guzmán H.J. Biomateriales Dentales de Uso Clínico. 5th. ed. Bogotá: ECOE ediciones; 2017.
- [2] Cruzado F. Comparación in vitro de la dureza, resistencia a compresión y estabilidad dimensional de los yesos dentales tipo IV de comercialización nacional. Universidad Nacional de Trujillo, Peru, 2018.
- [3] Geraldo RH, Pinheiro SMM, Silva JS, Andrade HMC, Dweck J, Gonçalves JP et al. Gypsum plaster waste recycling: A potential environmental and industrial solution. J Clean Prod [Internet]. 2017; 164:288-300. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.188>
- [4] Begliardo H, Sánchez M, Panigatti C, Garrappa S. Reutilización de yeso recuperado de construcciones: un estudio basado en requisitos de aptitud de normas argentinas y chilenas. Revista de la Construcción. 2013; 12(3): 27-35. Disponible en: <http://doi.org/10.4067/S0718-915X2013000300003>
- [5] United Nations. Conferencias | Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible | Naciones Unidas. [citado el 14 de julio de 2023]; Disponible en: <https://www.un.org/es/conferences/environment>
- [6] Semana.com. Así cambiará el reciclaje en Colombia tras entrada en vigencia de una norma. Revista Semana, 2020. Disponible en: <https://www.semana.com/cuales-son-las-politicas-de-reciclaje-en-colombia/304115/>
- [7] Zicla Innovation. Reciclaje de residuos y yeso, 2023. Disponible en: <https://www.ziclainnovation.com/project/reciclaje-de-yeso/>
- [8] Díaz TM, Samano DC, Eric DC, Cervantes R. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla [Internet]. Buap.mx. [citado el 10 de junio de 2023]. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/e43309ea-c887-461a-9d6c-e63bca21c0d4/content>
- [9] Mosquera-Palomino J, Vélez-Gómez CI. Reciclaje de excedentes metálicos generados en la elaboración de prótesis dentales. Prod Limpia [Internet]. 2021 [citado el 12 de junio de 2023];15(2):140-52. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-0455202000020014
- [10] Pineda-Higuera SE, Moreno Callejas S, Flórez Rivera J. Conocimientos y prácticas sobre el manejo del yeso dental en estudiantes de laboratorio dental. Cienc. Salud Virtual [Internet]. 30 de junio de 2018 [citado 13 de junio de 2023];10(1):15-23. Disponible en: <https://revistas.curn.edu.co/index.php/cienciaysalud/article/view/957>
- [11] Suárez-Silgado S. Viabilidad ambiental del reciclaje del yeso. Congreso Nacional del Medio Ambiente, Conama 2014. Universidad Politécnica de Cataluña.
- [12] Puentes Castillo JH, Daza Rico B. Reutilización de yesos en laboratorios de mecánica dental para reducir la generación

- de residuos. SATHIRI [Internet]. 2021 [citado el 12 de octubre de 2023];16(2):134-43. Disponible en: <https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/sathiri/article/view/1078>
- [13] García Méndez KS, Mateus Herreño CA. Diseño del sistema de gestión ambiental para los laboratorios de la tecnología de Laboratorio Dental de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga. Universidad Santo Tomás; 2021. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/35505>
- [14] Chaverri-Carvajal W. Reciclaje del yeso dental. Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología. de Costa Rica; 2021. Disponible en: <https://silo.tips/download/reciclaje-de-yeso-dental>
- [15] Macchi RL, Materiales Dentales, Buenos Aires: Panamericana, 2007.
- [16] Home [Internet]. Ada.org. [citado el 10 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.ada.org/>

Correo electrónico de los autores:

Josefina Mosquera Palomino: josefina.mosquera@uam.edu.co
Carlos Ignacio Vélez Gómez: carlos.velez@uam.edu.co