



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Estomatología

Secretaría de investigación y estudios de posgrado

**MAESTRÍA EN ESTOMATOLOGÍA CON OPCIÓN
TERMINAL EN PEDIATRÍA**

**“PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DEL YESO DENTAL
RECICLADO SEGÚN LA NORMA ISO 6873:2013”**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN ESTOMATOLOGIA CON
OPCION TERMINAL EN PEDIATRIA**

PRESENTA:

Tania Miranda Díaz ID: 220450008

DIRECTOR DE TESIS:

DC. Carolina Samano Valencia ID:100526470

ASESOR DISCIPLINARIO:

DC Eric Reyes Cervantes ID: 1000527651

ASESOR METODOLOGICO:

MEP. José Alberto Hachity Ortega ID: 100525962

LECTOR

MEI. Guillermo Franco Romero ID:100294988

30 de junio del 2022



BUAP

Oficio No. FESIEP/098/2022

C. Tania Miranda Díaz
Matrícula: 220450008
Alumno de la Maestría en Estomatología
Con opción Terminal en Pediatría
De la Facultad de Estomatología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
PRESENTE.

*El que suscribe, **MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez**, Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por este medio me permito informar a usted que esta Secretaría **aprueba la impresión de la Tesis titulada “Propiedades físicas, químicas y mecánicas del yeso dental reciclado según la norma ISO 6873:2013”**, misma que presentará para realizar su examen profesional y obtener el grado de **Maestra en Estomatología con Opción Terminal en Pediatría**.*

Sin más por el momento, deseándole lo mejor, le reitero mi distinguida consideración.

Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z., a 22 de junio de 2022.

MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez
Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología



Oficio No. FESIEP/096/2022

Facultad de Estomatología | 31 Poniente 1304, Col. Volcanes,
Puebla, Pue. C. P. 72410
01 (222) 229 55 00 Ext. 6400

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA
SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESINA RECEPCIONAL

Para obtener el Grado de: **Maestra en Estomatología con opción terminal en Pediatría**

Registro CIFE: 2021158 Fecha: **22 de junio de 2022**

Título de la Tesis "PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DEL YESO DENTAL RECICLADO SEGÚN LA NORMA ISO 6873:2013"

Nombre del alumno: Tania Miranda Díaz

Matrícula: 220450008

Domicilio: Porfirio Díaz #22 Col. Ignacio Zaragoza Cp. 72380. PUEBLA PUE.

Tel: 2224914571

Fecha de ingreso a la Facultad: agosto 2020

Firma: _____

Director de tesis: DC. Carolina Samano Valencia. Grado académico: **Doctora en Ingeniería y Ciencia de Materiales** Adscripción: **Facultad de Estomatología** ID: **100526470** TEL: **4448191822**

Firma: _____

Director disciplinario: DC Eric Reyes Cervantes. Grado académico: **Maestro en ciencias de la microbiología con orientación en bioquímica y genética**

Adscripción: Centro universitario de vinculación y transferencia de tecnología ID: **1000527651** Tel: **2224351874**

Firma: _____

Director metodológico: MEP. José Alberto Hachity Ortega. Grado académico: **Maestro en Estomatología Pediátrica** Adscripción: **Facultad de Estomatología** ID: **100525962** Tel: **2223565780**

Firma: _____

Lector: MEI. GUILLERMO FRANCO ROMERO. Grado académico: **Maestro en Estomatología Integral** Adscripción: **Facultad de Estomatología** ID: **100294988** Tel: **2222120657**

Firma: _____

Nombre y firma de aprobación del responsable de la Maestría en Estomatología con Opción terminal en Pediatría

MEP. José Alberto Hachity Ortega

Firma: _____

La Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología, autoriza la impresión de la Tesis.

MO. Farid-Aifonso Dipp Velázquez



Fecha: 22 de junio de 2022

Sello _____

Agradecimientos

Agradezco a mi madre y a mi hermana por ser mi motor diario para seguir adelante, a Sam por ser mi inspiración y mi motivación, a las tres por levantarme todos esos días en los que el cansancio me estaba ganando, a mi padre por su apoyo incondicional para mi desarrollo profesional, por sus consejos y por siempre mantenerme centrada, a mi compañero de desveladas, Pipo, por estar conmigo hasta en los momentos más difíciles, fuiste mi mejor amigo y hoy estoy cumpliendo lo prometido.

A mis docentes por motivarme a ser mejor cada día, por sus enseñanzas y su tiempo para contarme sus experiencias, especialmente a la Dra. Mónica Sánchez Ortiz por contagiarme su amor y pasión hacia la odontopediatría y por ser mi maestra desde antes de entrar a la maestría, al Dr. José Alberto Hachity Ortega por brindarme la confianza que necesitaba y por preocuparse por darme las mejores oportunidades dentro de la pandemia para seguir aprendiendo; admiro a cada uno de ustedes.

A mis asesores de tesis por brindarme su confianza y apoyo para realizar este proyecto.

Gracias infinitas a todos por creer en mí hasta cuando yo no lo hice.

ÍNDICE

1. Introducción	7
2. Antecedentes	8
2.1 Antecedentes generales	8
2.2 Antecedentes específicos	13
3. Planteamiento del problema	19
4. Pregunta de investigación	19
5. Justificación	19
6. Hipótesis	20
7. Objetivo general	20
7.1 Objetivos específicos	20
8. Materiales y métodos	21
8.1 Diseño del estudio	21
8.2 Población y muestra	21
8.3 Criterios de selección	21
8.3.1 Inclusión	21
8.3.2 Exclusión	21
8.3.3 Eliminación	21
8.4 Variables	21
8.5 Concordancia y fiabilidad	23
8.6 Ubicación espacio temporal	23
8.7 Procedimientos, técnicas y fuentes de recolección	23
8.8 Análisis estadístico	30
8.9 Logística	30
8.9.1 Recursos humanos	30
8.9.2 Recursos materiales	30
8.9.3 Recursos financieros	30
9. Bioseguridad	30
10. Resultados	30
10.1 Inspección visual u Homogeneidad	30
10.2 Tiempo de fraguado	32
10.3 Evaluación de la expansión de ajuste lineal	39
10.4 Fuerza de compresión	40
10.5 Pureza química	52
10.6 Cristalinidad	57
11. Análisis estadístico	61
12. Discusión	84
13. Conclusión	86
14. Bibliografía	87
15. Anexos	89

1.- INTRODUCCIÓN

El yeso dental en polvo es sulfato de calcio hemihidratado que al mezclarse con agua se convierte en sulfato de calcio dihidratado. Sus inicios fueron en el Medio Oriente, 2800 años a.C., fue ocupado por los egipcios para construir la pirámide de Keops y la de Giza.

La comisión nacional del medio ambiente (CONAMA), en su resolución 431/2011, cambia el yeso de no reciclable a reciclable, esto se puede realizar debido a que el cambio de sulfato de calcio dihidratado a hemihidratado es un proceso reversible con el que se puede realizar un circuito cerrado para poder reutilizar el Yeso.

Lo que se necesita para realizar un yeso reciclado es la trituración de las placas o modelos de yeso que se encuentran hidratados y una nueva calcinación para obtener nuevamente un sulfato de calcio hemihidratado; actualmente existen algunas fábricas como KNAUF GmbH, que se encargan de reciclar las placas de yeso laminadas que se obtiene de los residuos utilizados en construcción.

En odontología, el yeso, es usado para la elaboración de modelos de estudio, de trabajo, para montaje de modelos en articulador o como auxiliar de laboratorio, esto dependerá del tipo de yeso que se utilice.

Existen 5 tipos de yesos dentales, cada uno tiene propiedades e indicaciones diferentes que son dadas por la Asociación Dental Americana y reguladas por la Norma ISO 6873:2013, está última, ayuda a evaluar las propiedades físicas de los yesos: homogeneidad, tiempo de fraguado, fuerza de compresión, expansión de ajuste lineal y reproducción de detalles, cada uno de estos valores será diferente para cada tipo de yeso.

El destino final de los yesos dentales normalmente es el vertedero municipal, ahí se mezcla con residuos orgánicos, que al combinarse pueden generar sulfato de hidrógeno y provocar daños en la salud, además de dañar el suelo y el medioambiente; una alternativa es seguir los pasos de la industria de la construcción: reciclar el yeso dental, de esta manera podríamos obtener una economía circular, liberar espacio en los vertederos municipales, disminuir la contaminación en el suelo y reducir la utilización de los recursos naturales.

Para poder producir un yeso dental reciclado de calidad, es necesario que este sea examinado, por lo anterior el objetivo del presente proyecto fue llevar a cabo el proceso de reciclado y evaluar las propiedades del yeso de acuerdo con la Norma ISO 6873:2013.

Palabras clave: Yeso, propiedades del yeso reciclado, yeso reciclado, yeso dental, odontología ecológica.

2.- ANTECEDENTES

2.1 GENERALES

El yeso es un material antiguo, se cree que sus inicios fueron en el Medio Oriente, debido a que en la antigua Mesopotamia había abundantes rocas yesíferas. 2800 años a.C., fue ocupado por los egipcios para construir la pirámide de Keops y la de Giza(1).

Según la Subsecretaría de Minería de los Estados Unidos Mexicanos el yeso es un sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que se encuentra en cristales tabulares exfoliables en láminas que normalmente son incoloros. Tiene una dureza de 2 en la escala de Mohs y una gravedad específica de 2.32 gr/cc. Su color generalmente varía de blanco a blanco grisáceo, sin embargo, puede tener diversas tonalidades de amarillo, rojizo, castaño, azul grisáceo, rosa o amarillo debido a impurezas que pueda tener; a temperaturas elevadas de calcinación pierde toda el agua(2).

Según Anusavice el yeso o sulfato de calcio dihidratado es un mineral que es extraído en varias partes del mundo, se produce como un subproducto de la desulfuración de gases de combustión en algunas centrales eléctricas de carbón. El subproducto del yeso se encuentra como polvos finos de hemihidrato que se producen al calentar las partículas de yeso molidas, cuando se vuelve a mezclar con agua, se convierte en yeso nuevamente (3).

El yeso puede tener diferentes aplicaciones, como la construcción de edificios, acondicionamiento de suelos, lo podemos encontrar en la industria alimenticia, en elaboración de fármacos, en área médica y dental. Las aplicaciones principales de los productos de yeso en odontología son: la elaboración de modelos de estudio y su uso como material auxiliar para operaciones de laboratorio dental. También se utilizan para formar modelos y moldes sobre los que se construyen prótesis dentales de cera y restauraciones. Cuando un producto de yeso se mezcla con cargas refractarias, como con sílice, se vuelve más resistente al calor, lo que lo hace útil para fundir metal para restauraciones dentales (3). El yeso también es utilizado en el acondicionamiento de suelos, este funciona como un fertilizante y proporciona nutrientes a las plantas como lo son: calcio y azufre. Dentro de los beneficios que el yeso ofrece en la agricultura encontramos: mejora en la estructura del suelo, asegura la correcta germinación de las semillas, mejora el estado del agua en el suelo, mantiene el pH del suelo y ayuda a una mejor absorción de nutrientes (4).

El estado con mayor producción y principal exportador de yeso en México es Baja California Sur con el 56.4%; seguido de Nuevo León, 23%; San Luis Potosí, 10.5%; Coahuila, 3.7%; Sonora, 3.1%; y Colima, 2%. La producción nacional de yeso, en el 2015, fue de 5.3 millones de toneladas, 2.1% inferior con relación a 2014. En los últimos 10 años la producción presenta una tasa anual de decremento del 1.5% (2).

Los procesos de producción del yeso publicados en el 2017 por la Subsecretaría de Minería de los Estados Unidos Mexicanos son los siguientes:

Extracción: A través de las excavadoras se realiza el descapote. Se utilizan camiones para la disposición del material de desecho, se barrena utilizando el plan de minado diseñado, con explosivos se procede a la voladura para fragmentar la roca que después será cargada en camiones que la llevaran a la trituradora primaria que se encuentra al inicio de la mina (2).

Trituración: Se reduce el tamaño del yeso, normalmente se utilizan “cribas vibratorias en el circuito para maximizar la eficiencia de la trituración y reducir la producción de ultrafinos”. Se va a separar la porción de desechos y la roca se va a mover por una banda transportadora a la pila de almacenaje (2).

Secado: El objetivo es remover la humedad, utilizando secadores rotatorios (2).

Calcinación: Aquí se “reduce el sulfato de calcio dihidratado a formas hemihidratadas o anhidras”. En una caldera el calor va a ser introducido por la parte inferior para que pueda fluir a la parte superior. Se instalan varios flujos cruzados para mejorar el flujo del calor y se agita con una “lumbreira vertical rotatoria con escobas mecánicas o brazos de rastrillos”. Se va a perder agua a una temperatura entre 43 y 49°C. La tasa de combustión es controlada a una temperatura de 104°C, después de que esta etapa concluye, la tasa se puede incrementar para producir propiedades diferentes en el yeso final. Este proceso está indicado para “la aplicación en la fabricación de cemento, revoques y yesos especiales para las industrias medicinales, odontológicas, en moldes y como carga mineral” (2).

Molienda: Se realiza para tener un control del tamaño de la partícula. Usualmente se utilizan molinos de rodillo “air swept” ajustados con separadores de aire integrales, también se usan los molinos de impacto de alta energía agregando clasificadores de aire. Si en esta etapa se obtiene yeso sin calcinar, éste será destinado para relleno y agricultura (2).

Manufactura: Por lo regular se utiliza algún procesamiento adicional, como “molienda, aditivos mezclados o rehidratación y vaciado en bloques o plafones”, esto se realiza para diferentes objetivos como retardar o acelerar el tiempo de mezclado, goma y almidón utilizados como retardadores y sales metálicas, pasta de yeso fraguada y anhidrita utilizados como aceleradores (2).

El estuco de la caldera es el resultado de la calcinación más común, es “una mezcla de partículas en varios estados de deshidratación a partir del dihidrato para formar anhidros”, puede variar dependiendo la forma en que se realice la calcinación (2).

“El estuco es llevado a los hornos y máquinas para plafones o bien a empacadores y mezcladores de yeso”. Cuando el estuco se va a usar con agregados, se necesita utilizar un molino tubular para la remolienda. Para finalizar, después de estos procesos se tendrán los productos finales (2).

El componente principal de los productos a base de yeso es el hemihidrato de sulfato de calcio $[(CaSO_4)_2 H_2O$ o $CaSO_4 \cdot 1/2 H_2O]$. El resultado es un agregado

fibroso de cristales finos con poros capilares, también conocido como yeso parís o yeso dental en odontología. A medida que la temperatura se eleva más, se convierte en anhidrita. Este proceso inicia la fabricación y se conoce como calcinación, cuando el yeso se calienta en una caldera, horno rotativo que mantiene un ambiente húmedo; se produce un hemihidrato de cristalina llamado piedra dental en forma de varillas o prismas. Debido a las diferencias en el tamaño de los cristales, el área de superficie y el grado de la perfección de la red, los polvos resultantes a menudo se denominan hemihidrato α para piedra dental y hemihidrato β para yeso París. Los cristales de hemihidrato β se caracterizan por su "esponjosidad" y forma irregular. En contraste, los cristales de hemihidrato α son más densos y tienen una forma prismática (3).

Cuando las partículas de hemihidrato se mezclan con agua, la reacción se invierte. El α -hemihidrato produce una estructura más fuerte y dura que la del β -hemihidrato. La razón de esta diferencia es que los cristales de hemihidrato β tienen una forma más irregular y un carácter poroso, y requieren más agua para humedecer las partículas de polvo para que puedan ser agitadas y vertidas. Estas diferencias se explican por la forma y la compactación de los cristales. Estos factores están regulados por el fabricante y dependen del tipo de proceso utilizado, las temperaturas de deshidratación, el tamaño de partícula del yeso a ser calcinado, el tiempo de calcinación, el tiempo de molienda del producto final y la adición de tensoactivo. Si el proceso de calcinación ocurre bajo presión en una solución de cloruro de calcio al 30% o en presencia de más del 1% de succinato de sodio, los cristales de hemihidrato son más cortos y gruesos que los producidos en un recipiente cerrado y es un α -hemidrato modificado, necesita menos agua para ser mezclado (3).

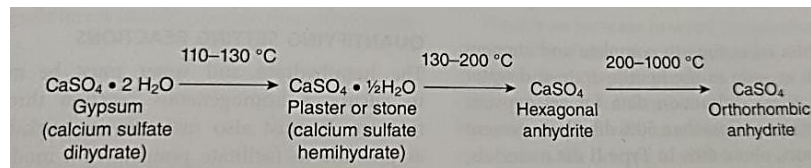


Figura 1. Se explica como el aumento de temperatura de calcinación afecta las propiedades del Yeso dental. Tomada de Anusavice. KJ. Gypsum Products. In: Phillips' Science of Dental Materials. 12th ed. España: Elsevier Ltd; 2012. p. 18 2-3. (3)



Figura 2. Se observa la diferencia entre cristales. ($\times 400$). En la imagen 1 se encuentra β hemihidrato, con cristales esponjosos, y de forma irregular, en la imagen 2 se encuentra α hemihidrato, con cristales densos y prismáticos y en la imagen 3 se encuentra α hemihidrato modificado, con cristales cortos, gruesos y más cúbicos. Tomada de Anusavice. KJ. Gypsum Products. In: Phillips' Science of Dental Materials. 12th ed. España: Elsevier Ltd; 2012. p. 18 4. (3)

La reacción entre los productos de yeso y el agua produce yeso sólido, y el calor generado en la reacción exotérmica es igual al calor utilizado originalmente para la calcinación.

Hay tres teorías sobre el fraguado de yeso:

- La teoría coloidal propone que, cuando se mezcla con agua, el hemihidrato entra en el estado coloidal a través de un mecanismo de sol gel. En el estado de sol, las partículas de hemihidrato se hidratan para formar dihidrato, entrando así en un estado activo. Cuando se consume el agua, la masa se convierte en un gel sólido.
- La teoría de la hidratación sugiere que las partículas de yeso rehidratadas se unen a través de enlaces de hidrógeno con grupos sulfato para formar el material fraguado.
- La teoría más aceptada es la disolución-precipitación, que se basa en la disolución de las partículas de hemihidrato en agua seguido de una recristalización instantánea en el dihidrato. Entonces las reacciones de fraguado son las siguientes: El hemihidrato se mezcla con agua y se forma una mezcla fluida y viable. El hemihidrato se disuelve hasta formar una solución saturada de Ca y SO. La solución saturada de hemihidrato está sobresaturada con respecto a la solubilidad del dihidrato y se produce precipitación del dihidrato. Cuando el dihidrato precipita, el hemihidrato continúa disolviéndose, este proceso seguirá y se formarán cristales nuevos o se producirá un crecimiento adicional en los cristales ya presentes(3).

La clasificación de los yesos dentales según la Asociación Dental Americana (ADA) es la siguiente:

“Yeso para impresión tipo I: Actualmente en desuso. Ha sido sustituido por materiales menos rígidos, como los hidrocoloides y elastómeros.

Yeso para impresión tipo II: Es el más utilizado en el laboratorio y para montaje de modelos de estudio. Se utiliza para rellenar una mufla en la construcción de prótesis, cuando la expansión de fraguado no es crítica y la resistencia es adecuada y está entre los límites marcados en la especificación. Es relativamente débil, podemos encontrar yeso tipo II para montaje (Clase 1) y yeso para modelos (clase 2)

Yeso para impresión tipo III: Utilizado para la construcción de modelos en la fabricación de dentaduras totales que se adaptarán a tejidos blandos.

Sus usos son:

- Modelos de diagnóstico
- Modelos para encerado
- Modelos iniciales de Prótesis Total
- Modelos iniciales de Prótesis Parcial Removible
- Modelos para guardas oclusales

Yeso para impresión tipo IV: Para vaciar modelos para prótesis fija y prótesis removible. Tiene mínima expansión al fraguado y es resistente a la abrasión. Las partículas de este yeso tienen forma cuboidal y su menor área superficial permite obtener las propiedades físicas adecuadas: resistencia, dureza, resistencia a la abrasión y mínima expansión de fraguado.

Uso en Odontología:

- Modelos finales de Prótesis Parcial Removible
- Modelos finales para Prótesis Fija y coronas de metal porcelana

Yeso para impresión tipo V: yeso de reciente aparición, tiene mayor resistencia a la compresión que el tipo IV. La resistencia se mejora al hacer posible una menor proporción agua/polvo” (5).

La manipulación del yeso dental debe realizarse con un medidor graduado para el agua y haber pesado previamente el polvo, este debe ser agitado previamente en su empaque para que las partículas del yeso se suelten y aumente el volumen, esto como resultado del atrapamiento del aire (3).

La relación de agua para 100gr de polvo para cada yeso es la siguiente: Tipo I: 0.50-0.75ml, tipo II: 0.45-0.50, tipo III: 0.28-0.30, tipo IV: 0.22-0.24 y tipo V: 0.18-0.22. Es importante seguir las recomendaciones del fabricante (3).

Si la mezcla se realiza de forma manual, se debe tener un recipiente hondo, liso y resistente, la espátula debe tener una hoja rígida y un mango cómodo, en el recipiente se coloca el agua y se va agregando el yeso, de tal manera que se humedezca, posteriormente se agita vigorosamente para que se rompan los grumos, se debe obtener una mezcla uniforme y el uso del vibrador es útil para reducir el atrapamiento de aire en la mezcla (3).

El tiempo de mezcla va desde que se agrega el polvo al agua hasta que se completa la mezcla, mecánicamente se completa de 20 a 30s, manualmente se necesita de un minuto. El tiempo de trabajo va desde el inicio de la mezcla hasta tener una consistencia que ya no es aceptable y por lo regular es de 3 min. Cuando avanza la reacción de fraguado el exceso de agua se absorbe para formar el dihidrato, la mezcla pierde su brillo y gana fuerza. Cuando la masa se encuentra en el tiempo inicial de fraguado todavía tiene una resistencia a la compresión medible y no es seguro retirar el yeso. El tiempo de fraguado final va a variar según el material (3).

El tiempo de fraguado inicial puede ser verificado con una aguja Gillmore que tenga una punta de 2.12mm de diámetro y un peso de 113.4g, el yeso aún no tiene una compresión que se pueda medir, si se usa una aguja Gillmore con una punta más fina, de 1.06mm de diámetro y que pese 453.6g y deja una marca perceptible, se llama tiempo de fraguado final(3).

La norma internacional de yesos dentales es: ISO 6873, tuvo una revisión en el 2013 que hasta el momento es vigente, esta norma especifica los requisitos para acreditar un yeso dental, nos enfocaremos únicamente en los necesarios para el yeso tipo II y son:

- La calidad, cuando se examine el polvo, este debe ser uniforme y sin cuerpos extraños o grumos, de tal manera que se obtenga una mezcla homogénea(6).
- El tiempo de fraguado, debe estar dentro del 20 % del valor indicado por el fabricante en 8.2.1 h) o en 8.2.2 h), es decir, si el fabricante asegura un rango de tiempo de fraguado, entonces el punto medio de este rango se toma como el valor reclamado por el fabricante (6).
- La expansión de ajuste lineal, para el tipo II clase 1 a las 2 horas se encuentra entre 0 y 0.05, para el yeso tipo II clase 2 a las 2 horas está entre 0.06 y 0.30, 24 horas después ya no existirá ningún cambio (6).
- La fuerza de compresión, una hora después para las dos clases de yeso tipo II será de 9.0Mpa (6).
- Reproducción de los detalles, deberá ser capaz de reproducir una ranura en “c” (6).

Ver anexo 1.

Para poder obtener los elementos que componen un material, se puede realizar un análisis químico elemental con una espectroscopia de dispersión de energía (EDS) o también llamado análisis de dispersión de energía por rayos-X (EDAX), el material que se quiere analizar es irradiado por un haz de electrones de un microscopio electrónico de barrido para poder identificar y cuantificar los rayos X que son característicos de cada elemento (7). También se puede realizar un análisis de microestructura por medio de una microscopía electrónica de barrido (MEB), con el que se puede obtener las características morfológicas de una muestra, lo que se realiza es una emisión de un haz energético de electrones (0.1-30 Kev) que es dirigido a la muestra que se quiere evaluar (8).

2.2 ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

El proceso de reciclado de yeso es simple, es necesario una nueva calcinación de la pasta de yeso hidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) para formar el hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), para que pueda ser rehidratado y así utilizarlo de nuevo. Al hacer este proceso el tiempo de fraguado se ve afectado. El Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en su resolución 431/2011, realiza el cambio de los residuos de yeso de no reciclables a reciclables (9).

El yeso comercial en polvo utilizado en la construcción es un aglomerante bajo la forma de hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$), se obtiene deshidratando a temperaturas aparentemente bajas (100-130°C) al sulfato de calcio dihidratado. Al agregar agua se recuperan las moléculas perdidas durante el proceso de calentamiento y se vuelve a transformar en dihidrato, más poroso y menos denso que el original (9).

Knauf GmbH es una empresa que se encuentra en Granada, España y en el 2010 reportó que realizó pruebas piloto en las que se contemplaban los distintos comportamientos del producto al pasar a través de un sistema de molienda y cribado con tromel e parrilla y criba circular móvil. Los resultados obtenidos reflejaban la recuperación de más del 50% de material, aun cuando en una primera etapa no se

realizaba ningún tipo de molienda adicional y el material se procesaba en cribado tal como se recibía, y el ahorro por tonelada es aun así considerable debido al elevado gasto que supone la carga y transporte a vertedero de las placas de rechazo (10).

Bardella y Camarini en el 2011 publicaron un estudio sobre las propiedades físicas y mecánicas del yeso comercial y el reutilizado, para obtener este último, ellos utilizaron los residuos del yeso hidratado de obras de construcción de la ciudad de Campinas en Sao Paulo Brasil, lo molieron hasta que podía pasar en un tamiz de 0.8mm, fue deshidratado en un horno con temperaturas de 150 °C (± 5 °C), 180 °C (± 5 °C) y 200 °C (± 5 °C) por un período de 24 hrs. Observaron el tamaño de las partículas de los polvos, la finura, la gravedad específica, el peso a granel, los tiempos de fraguado, la resistencia a la compresión, flexión y dureza. En sus resultados podemos encontrar que, en los yesos reciclados, el aumento de temperatura modifica las propiedades físicas del polvo (11).

Tabla 1. Comparación de la temperatura, gravedad específica, peso a granel y finura del yeso comercial y el reciclado. Tomada de Bardella PS, Camarini G. *Recycled plaster: Physical and mechanical properties*(8).

	t°	Gravedad específica (kg/m3)	Peso unitario a granel. (kg/m3)	Finura
Yeso Comercial	-	2605	630,00	1,26
Reciclado I	150°	2570	574,43	2,31
Reciclado II	180°	2610	549,57	2,17
Reciclado III	200°	2575	531,40	1,92

Los tiempos de fraguado inicial para los yesos reciclados se vieron afectados debido a la temperatura a la que se sometieron y a la distribución del tamaño de las partículas (11).

Tabla 2. Comparación de los tiempos de fraguado entre el yeso comercial y el reciclado. Tomada de Bardella PS, Camarini G. *Recycled plaster: Physical and mechanical properties* (8).

	Tiempo de Fraguado (min:s)		▲ = Final- Inicial (min:s)
	Inicial	Final	
Yeso Comercial	10:40	23:08	12:28
Reciclado I	22:29	41:37	19:08
Reciclado II	25:50	45:17	19:27
Reciclado III	26:22	52:25	26:03

Las propiedades mecánicas de los yesos dependen de la cinética de la hidratación y del crecimiento de los cristales de yeso. Entonces, los yesos comerciales tienen mejor resistencia a la compresión, pero el rendimiento de los yesos reciclados también fue bueno (11).

En el estudio de Begliardo y cols., en el 2013, los residuos de placas de yeso con coberturas de cartón (YC) de obras civiles se recuperaron y se sometieron a un proceso de separación gruesa de impurezas y se sumergieron en agua para poder retirar la cobertura de cartón, para luego pasarlos a secado, trituración, molienda y

cribado por el tamiz #16 (IRAM 1,18 mm). Posteriormente se llevó el producto a distintas temperaturas de secado de crecimiento escalonado (100, 110, 120, 130 y 140°C). Al material recuperado de las obras en las que el yeso se aplicó en condiciones húmedas (YH), debido a rechazos por fraguado, caídas o sobrantes, se le dio en el laboratorio un tratamiento similar al dado a los residuos de placas de yeso con cobertura de cartón (12).

Como resultado este estudio obtuvo una finura del yeso adecuado, pasaba el 100% por el tamiz #16, encontraron que en los residuos secados a 100 y 110 °C el mayor porcentaje del sulfato de calcio se encuentra como hemihidrato, y un pequeño porcentaje aún se encuentra como dihidrato; en los que fueron secados a 120, 130 y 140° C, ya no hay contenido de dihidrato y se presentan moléculas de sulfato de calcio anhidro (12).

Camarini y Phineiro en el 2014 evaluaron “la formación de cristales de dos tipos de yeso reciclado, con diferentes tamaños de partículas obtenidos por el proceso de reciclado”. El yeso reciclado fue de residuos de la construcción de edificios y este se trituró y calcinó en un horno estacionario a 150°C por una hora. “Las características morfológicas de los cristales de yeso fueron observadas por un microscopio electrónico de barrido (JSM - 5900)”. Como resultado encontraron que los cristales de los 2 yesos reciclados y el comercial eran prismas bien definidos, esto indica que no hubo alteración química en su composición (13).

En otro artículo publicado por Phineiro y Camarini en 2015 realizaron un estudio en donde evaluaron las propiedades físicas y químicas del yeso reciclado 3 veces a partir de un yeso comercial; su proceso de reciclado lo llevaron a cabo mediante la molienda y la calcinación de residuos de yeso que fueron triturados en un molino, alcanzaba una finura inferior a 1,10, se homogeneizaban y se calcinaban en un horno estacionario a 150°C durante 1 hora. Ellos encontraron que el primer y el tercer yeso reciclado tuvieron la misma gravedad y superficie específica del yeso comercial, el yeso comercial tuvo una finura mayor que los reciclados, el peso unitario a granel es menor para el tercer yeso reciclado.

El primer yeso reciclado presentó mayor cantidad de dihidratos y esto se puede explicar por el tiempo de calcinación, el tamaño de las partículas de este yeso difiere con el tercero por el mismo proceso, pero ambos presentaron altos niveles de sulfato de calcio hemihidratado (14).

En el 2015 Dawood y cols., nos recuerdan que los modelos de yeso siguen siendo el estándar de oro para la evaluación, diagnóstico y futuro tratamiento de los pacientes y mencionan que desde hace varios años se ha ido incorporando la tecnología dentro de la odontología, como las impresiones en 3D, éstas se utilizan para fabricar capa por capa un objeto, éstas impresoras son simples, pero necesitan un software para la producción de objetos, también es necesario tener acceso a los datos volumétricos de lo que queremos imprimir, para el caso de la odontología se necesitaría tener a la mano una tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) o poder utilizar un escáner intraoral. Actualmente sus aplicaciones en la odontología son principalmente en cirugía maxilofacial, implantología, ortodoncia, elaboración de coronas, prótesis y la fabricación de modelos (15). Kasparova y cols., nos

informan sobre la existencia de varias impresoras con las que se pueden fabricar objetos de diferentes materiales como: plástico, nylon, resina curable y algunas utilizan agua y polvo que principalmente es Yeso tipo II. Sin duda el problema principal de la impresión en 3D es su costo elevado, actualmente ya existen algunas impresoras que han reducido el costo, pero también se debe tener en cuenta su mantenimiento, los materiales para la impresión y la toma de la misma, en un futuro el procesamiento puede ser difícil, además, se necesita estar capacitado de forma específica para su uso(16). Debido a esto y al menos en nuestro medio, el uso de yeso dental para la obtención de modelos, montaje en articulador y trabajo de laboratorio continuará.

En el 2016 Camarini y cols. nos vuelven hablar del yeso reciclado, mencionan que el desperdicio de yeso es una pérdida de material y en los vertederos ya no está permitido llevarlo debido a que los sulfatos pueden reaccionar con los orgánicos para formar sulfuro de hidrógeno. La reutilización de estos residuos nos da un ahorro de materias primas y disminuye el impacto ambiental. Se ha descubierto que el fraguado del yeso reciclado es más rápido y su tiempo de trabajo es menor, los retardadores de yeso en dosis adecuadas pueden ajustar el tiempo de fraguado. Se evaluó la adición del ácido cítrico al yeso reciclado, utilizaron diferentes concentraciones, 0,025%, 0,05%, 0.1% y 0.25%. El tiempo de fraguado inicial y final se evaluó con el aparato "Vicat", se esperaba que la consistencia disminuyera y se aumentara el tiempo de trabajo pero no hubo diferencias entre las mezclas, el aditivo aumento los tiempos de fraguado con las concentraciones de 0.1% y 0.25%, la resistencia a la compresión y la dureza disminuyen al aumentar el ácido cítrico(17).

Arora y cols., en el 2017 explican el término "odontología ecológica", este es un enfoque que implementa prácticas sostenibles manteniendo el consumo de recursos en línea con la conservación de la naturaleza, cuidando el medio ambiente, este fue introducido por el Dr. Malden Kralj quien es fundador del primer grupo dental ecológico de Estados Unidos. Se puede disminuir la producción de residuos reutilizando y reciclando la mayor cantidad de materiales, el papel, el metal y el yeso pueden ser reciclados. El yeso desechado en los vertederos produce sulfato de hidrógeno que tiene un olor a huevo podrido, el estar en contacto con él puede provocar irritación en los ojos, nariz y garganta, como efectos a largo plazo se encuentran dolores de cabeza, mala memoria, y falta de atención. En el Reino Unido se están iniciando proyectos de reciclaje de yeso con residuos de demolición y otros productos de yeso. Arora y cols., afirman que el 99% del yeso reciclado es tan bueno como el yeso virgen(18).

En 2017 Geraldo y cols., en su artículo mencionan que el reciclaje de yeso es una posible solución para el medioambiente y la industria, debido a que la planta térmica que realiza el procesamiento del yeso reciclado consume menos energía por unidad de masa producida en comparación con el yeso natural y la emisión de CO₂ es mucho menor. Al reciclar el yeso se disminuye la contaminación del suelo y el agua, además de reducir la utilización de recursos naturales y generando más espacio en vertederos (19).

Papailiopolou y cols., en su publicación del 2017 especifican que el yeso es 100% reciclable y este proceso se puede realizar varias ocasiones debido a que sus propiedades naturales no cambian en el proceso, generando un “circuito cerrado”, ya que una vez producido se puede volver a reproducir, esto ayudaría a las políticas de preservación de los recursos naturales y a promover una economía circular (20).

La fábrica KNAUF GmbH actualmente recicla polvo de yeso, yeso húmedo y yeso seco, el material es depositado en la tolva de recepción, posteriormente conducido a través de elevadores y cintas transportadores hasta un sistema de molienda y cribado circular rotatorio. Posteriormente pasan un segundo proceso de cribado que permite eliminar el yeso retenido en las finas partículas de cartón. Durante el proceso y a través de un sistema de aspiración y filtrado totalmente automatizado se consigue la separación del yeso y el cartón. Finalmente, el yeso reciclado es conducido de nuevo a la entrada de calcinación donde entra a formar parte de nuevo del proceso para la fabricación de placas de yeso laminado. El cartón es enviado a un sistema de prensado automatizado y en procesamiento continuo del que se obtiene briquetas de cartón listas para ser utilizadas de nuevo en el proceso (10).

New West Gypsum Recycling es una empresa canadiense que anualmente recicla unas 250.000 toneladas de yeso, aproximadamente el yeso necesario con el que se podría producir casi treinta millones de metros cuadrados de placas de yeso laminado y con esto ellos consiguieron reducir costes económicos, medioambientales y evitar el consumo de recursos naturales. En Europa la empresa más importante para el reciclado de Yeso es Gypsum Recycling Group, al año recicla más de un millón de toneladas de yeso que proviene de residuos de placas de yeso laminado utilizadas en la construcción y este mismo material lo utilizan las cinco principales empresas productoras de yeso reciclado a nivel mundial: USG, Knaf GmbH, Saint Gobain y Lafarge, National Gypsum (10).

En el 2020 Ahmad Zakiyuddin y cols., mencionaron la importancia del reciclado de yeso dental, para la disminución de costos de producción, reducción de los residuos y limitar los daños a la salud por la liberación de sulfato de hidrógeno. Ellos estudiaron el comportamiento del yeso dental reciclado, utilizaron yeso tipo I, tipo II y tipo III, en este último realizaron un tratamiento térmico. Vaciaron primero los yesos en recipientes y los dejaron por 24hrs, caracterizaron las muestras iniciales y después iniciaron el procedimiento de reciclaje que fue: trituración y molienda, manual o con bolas, hasta conseguir partículas finas, para esto utilizaron una malla #100. Para el yeso tipo III realizaron el proceso de calcinación o tratamiento térmico en un horno a 150°C por 1 hora. Los 3 tipos de yeso los prepararon y vaciaron, el producto final les sirvió para comparar las propiedades mecánicas, físicas, químicas y superficiales entre el yeso que ellos llaman fresco, reciclado y con tratamiento térmico. Para las pruebas utilizaron Termogravimetría Simultánea y la Calorimetría Diferencial de Barrido (TGA-DSC) para identificar la transformación de fase a su cambio de masa y el comportamiento a una diferencia de temperatura, también usaron Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopio Electrónico de Barrido para identificar las fases cristalinas y la forma de los cristales. Quisieron identificar la dureza y las diferencias en la resistencia de compresión antes y después del reciclado. En sus resultados Ahmad Zakiyuddin y cols. encontraron que para el yeso

tipo III a una temperatura de 158-162°C la mayor parte del agua es eliminada y puede sufrir una pérdida de peso que varía entre 7.1-20.8%. Los cambios de peso los encontraron estables cuando estuvieron sometidos a 160°C, llegaron a la conclusión que el agua o cualquier compuesto que esté unido a la partícula de yeso será liberado después de pasar los 160°C. La resistencia media a la compresión del yeso tipo II fresco fue de 11,453 MPa y para el yeso tipo II reciclado dio valores muy bajos que no pudo leer la máquina, por lo tanto, las muestras no pudieron soportar las cargas, ellos explican que esto es causado por la incorporación de agua por segunda vez y el polvo ya no estaría reaccionando con el agua, y está actuaria sólo como un aglutinante que no reacciona con el yeso, de esta manera se da una pérdida de resistencia. Para el yeso tipo III reciclado sin calcinación les dio valores nuevamente bajos que no fueron detectados, pero para el yeso tipo III que entró a calcinación encontraron un valor medio de 33.08MPa que supera al yeso tipo III fresco que tuvo 14.52MPa. La forma de los cristales que encontraron para el yeso tipo II fresco fue con unas superficies ásperas y en trozos grandes, con forma ortorrómbica irregular, que corresponde a un hemihidrato β para el yeso reciclado tipo II encontraron superficies lisas y más pequeñas, con forma de barra o prisma, identificando aquí hemihidrato α , para el yeso tipo I y tipo III los resultados fueron similares y para el yeso tipo III que recibió la calcinación observaron cristales con forma ortorrómbica irregular con partículas más pequeñas como fibra, muy similar a los yesos frescos y los resultados que obtuvieron con el DRX arrojaron que el yeso fresco se componen de sulfato de calcio hidrato $[\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}]$, los reciclados se convierten en sulfato de calcio dihidrato $[\text{CaSO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_2]$ y con la calcinación se devuelve parte del hidrato de sulfato de calcio $[\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}]$ con un valor menor (21).

Pedreno-Rojas y cols., en 2020 publicaron un artículo sobre la evaluación ambiental de la producción de yeso en donde querían determinar los beneficios ambientales del reciclaje de yeso. Para su estudio se tuvieron en cuenta todas las fases individuales de fabricación que son: extracción, trituración, calcinación, molienda/separación, mezcla, envasado/almacenamiento y distribución; utilizaron la metodología IMPACT 2002 y las categorías a analizar fueron: efectos cancerígenos y no cancerígenos, la formación de ozono fotoquímico con efectos orgánicos respiratorios, agotamiento abiótico debido a la extracción de minerales, calentamiento global, agotamiento del ozono, acidificación, eutrofización, ocupación del suelo, energía no renovable e inorgánicos respiratorios y determinaron indicadores de impacto sobre la salud, la calidad de los ecosistemas, el cambio climático y los recursos. Pedreno-Rojas y cols., encontraron que para la producción de yeso y el reciclaje del mismo todas las categorías analizadas se ven afectadas pero para el yeso reciclado es en menor cantidad y observaron que en este, se pueden suprimir algunas fases, como la calcinación o incluso la trituración y se reduce el impacto ambiental en un 40%, aun así, ellos recalcan que el reciclaje, se debe enfocar en la preservación de las propiedades de los materiales (22).

En el 2021 Weimann y cols., publican el artículo: "Environmental Evaluation of Gypsum Plasterboard Recycling" en donde mencionan que en 2019 la producción

mundial aproximada de yeso fue de 140 millones de toneladas y hablan sobre las zonas de extracción que van a empezar a ser cuidadas para la conservación de la naturaleza, aunque Weimann y cols., nos dan datos sobre el yeso utilizado en la industria de la construcción, podemos darnos cuenta de la importancia del reciclaje de yeso en cualquier área y lo fundamental que se vuelve una economía circular. Además, en el artículo se habla sobre el impacto en el cambio climático provocado por la producción de yeso o el reciclado del mismo y este depende de la distancia de transportación y vertido; dentro de sus conclusiones hacen hincapié en que es factible el reciclaje de yeso a nivel industrial porque es ecológico (23).

3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el posgrado de Pediatría y en la facultad de estomatología se utiliza constantemente el yeso dental para el vaciado de impresiones de modelos de estudio, de trabajo o el montaje de modelos en articuladores, esto permite diagnosticar y llevar un seguimiento en los pacientes. Después de que se terminan de utilizar los modelos de yeso o el montaje quedan como desechos y son llevados a los vertederos municipales en donde están en contacto con materia orgánica que al combinarse pueden producir gases perjudiciales para la salud, además de la contaminación de suelo y agua. Hoy en día se cuenta con avances tecnológicos, como lo son las impresoras 3D, para la elaboración de modelos de yeso, pero no para el montaje de estos en articulador, además se debe tener en cuenta el costo de las impresoras, mantenimiento y la capacitación para poder utilizarlas. Aún no se tiene la accesibilidad a esta tecnología a nivel universitario. Es fundamental evaluar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del yeso dental reciclado y saber si coinciden con las del yeso dental comercial y las estipuladas en la norma ISO 6873:2013, para poder tener la producción de un yeso reciclado de calidad.

4.- PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las propiedades físicas, químicas y mecánicas del yeso dental reciclado en comparación con las del yeso comercial y según la norma ISO 6873:2013?

5.- JUSTIFICACIÓN

Actualmente se sabe que el yeso es 100% reciclable debido a que sus propiedades naturales no cambian en el proceso, diversos estudios nos hablan sobre el reciclaje a base de residuos de construcción de edificios o placas de yeso de obras civiles, pero ninguno ha mencionado el reciclaje dentro del área dental, a base de modelos de estudios que son desechados después de su utilización.

Se puede implementar una práctica sostenible reduciendo, reciclando y reutilizando el yeso dental para el vaciado de modelos de estudio o montado de los mismos, de esta manera se puede optimizar la utilización de estos recursos.

La elaboración del yeso dental reciclado con las propiedades físicas, químicas y mecánicas indicadas por la norma ISO 6873:2013 es necesario para reducir la producción de desechos dentro del Posgrado de Estomatología con Terminal en

Pediatría, para después, posiblemente implementar este proyecto en toda la Facultad de Estomatología de la BUAP, además dará como beneficios la disminución de desechos en el vertedero municipal, disminución de costos para la manipulación de los desechos, producción del primer yeso dental reciclado tipo II y favorecer a la conservación del medio ambiente.

6.- HIPÓTESIS

Hi: Las propiedades físicas, químicas y mecánicas del yeso reciclado son iguales a las del yeso comercial y cumplen con la norma ISO 6873:2013

Ho: Las propiedades físicas, químicas y mecánicas del yeso reciclado no son iguales a las del yeso comercial y no cumplen con la norma ISO 6873:2013

7.- OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del yeso reciclado obtenido de 4 marcas diferentes, compararlas con las del yeso comercial y verificar si cumple la norma ISO 6873:2013

7.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la calidad y homogeneidad del yeso dental reciclado por medio de una inspección visual sin aumento.
- Identificar el tiempo de fraguado del yeso dental reciclado con una modificación de aguja Gillmore.
- Valorar la expansión de ajuste lineal del yeso dental reciclado con un vernier.
- Estimar la fuerza de compresión del yeso dental reciclado con una máquina Instron.
- Evaluar la pureza química del yeso reciclado por medio de una espectroscopia de dispersión de energía de Rayos X
- Describir la cristalinidad del yeso reciclado a través de microscopía electrónica de barrido.
- Comparar los valores obtenidos del yeso reciclado con el yeso comercial.
- Comparar los valores obtenidos de las marcas de yeso con la norma ISO 6873:2013

8.- MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 DISEÑO DEL ESTUDIO

- Experimental
- Transversal
- Prospectivo

8.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

- 3 muestras de Yeso tipo II a Granel reciclado
- 3 muestras de Yeso tipo II Valdi reciclado
- 3 muestras de Yeso de Ferretería reciclado
- 3 muestras de Yeso tipo II MDC reciclado
- 3 muestras de Yeso tipo II a Granel comercial
- 3 muestras de Yeso tipo II Valdi comercial
- 3 muestras de Yeso de Ferretería comercial
- 3 muestras de Yeso tipo II MDC comercial

8.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN

8.3.1 INCLUSIÓN

Yeso tipo II a Granel

Yeso tipo II Valdi

Yeso de Ferretería

Yeso tipo II MDC

8.3.2 EXCLUSIÓN

Yeso III

Yeso IV

Yeso contaminado con cualquier otra sustancia

8.3.3 ELIMINACIÓN

Cualquier muestra de yeso tipo II reciclado que sufra contaminación o modificaciones antes o durante las pruebas.

8.4 VARIABLES

Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Categoría	Escala
Yeso reciclado a base de: *Yeso blanca nieves (tipo II) VALDI *Yeso paris tipo II de MDC dental *Yeso Tipo II a Granel *Yeso de Ferretería	Sulfato de calcio hemihidratado, que pasó por una nueva trituración y calcinación.	Una vez hecho el yeso comercial, lo llevaremos al molino de piedra para triturarlo, luego será calcinado en una mufla a 130°C por 4 horas y por último pasará por un tamiz #200.	-----	-----

VARIABLES DEPENDIENTES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	CATEGORÍA	ESCALA
Homogeneidad	Se refiere a un material uniforme, sin cuerpos extraños y grumos.	Se evalúa con una inspección visual sin ningún tipo de aumento.	Cualitativa	Evaluación visual
Tiempo de fraguado	Período en el que el yeso se endurece.	Se evalúa con una adaptación de aguja Gillmore, se realizan 5 o 6 marcas, cambiando en la última el peso de la aguja.	Cuantitativa	Minutos
Fuerza de compresión	Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.	Se aplica una fuerza creciente en los extremos de cada molde hasta que se genere una falla al utilizar la máquina Instron.	Cuantitativa	MPa
Expansión de ajuste lineal	Es un fenómeno que puede detectarse en el paso de hemihidrato a dihidrato.	Con un vernier, se registran 2 lecturas, la inicial después de terminada la mezcla y la segunda después de fraguado, se determinará el cambio de longitud más cercano a 0.01mm.	Cuantitativa	mm.
Pureza química	Análisis químico de los elementos que componen el material.	Se utiliza el microscopio electrónico de barrido, una sonda de espectroscopia de dispersión, 1 gramo de muestra y se analiza con 1 minuto de radiación y se hacen 3 barridos por muestra, se obtiene el resultado del análisis químico elemental en porcentaje en peso.	Cuantitativa	%
Presencia de cristales	Es un análisis de microestructura con el que se puede obtener las características morfológicas de una muestra	Se requiere de 5 mm ³ de material, que es cubierto con oro en un evaporador, se analiza en el microscopio electrónico de barrido en alto vacío a una distancia de trabajo de 10 mm y se selecciona la apertura entre 20 y 60 spot size, con aceleración de voltaje entre 5 a 30 kve	Cualitativa	Si hay cristales o no hay cristales

8.5 CONCORDANCIA Y FIABILIDAD

El investigador principal fue estandarizado para el uso de los instrumentos y la interpretación de los resultados por el experto, quien es encargado del laboratorio de Mecatrónica, de síntesis y desarrollo de biomateriales y su caracterización por técnicas microscópicas y espectroscópicas en la Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento (DITCo).

Todos los instrumentos y equipos se encuentran debidamente calibrados.

El investigador principal fue el encargado de preparar todas las muestras de yeso.

8.6 UBICACIÓN ESPACIOTEMPORAL

DITCo y laboratorio de materiales dentales de la Facultad de Estomatología de la BUAP

8.7 PROCEDIMIENTOS, TÉCNICAS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN

Obtención del yeso reciclado

1. Se compró Yeso tipo II de 4 marcas diferentes: Yeso blanca nieves (tipo II) VALDI, Yeso Paris tipo II de MDC dental, Yeso Tipo II a Granel y Yeso de ferretería.
2. Los yesos estuvieron en el lugar 24hrs antes de la preparación con una temperatura de 23°C +/- 2°C y con una humedad de 50% +/-10%, como lo indica la norma ISO 6873:2013
3. Se preparó un kilo de yeso de cada marca, de la siguiente manera:
 - 3.1 Se hizo el cálculo de relación polvo-agua para cada yeso, según el fabricante para MDC y VALDI, para granel y ferretería, al no tener indicaciones por el fabricante, ambas se quedaron con las mismas proporciones, nos basamos en lo indicado por Anusavice sobre la proporción agua/polvo del yeso tipo II, 0.45-0.50 para 100g, esto a su vez también es reportado por la ADA en su especificación 25.

Tabla 3. Relación polvo/agua para preparar el yeso reciclado. Fuente propia.

Yeso	Proporción polvo/agua fabricante	Proporción polvo/agua procedimiento
1.Yeso VALDI	100g / 36c.c	1000g/ 360ml
2.Yeso MDC	100g/ 41ml	1000g/ 410ml
3.Yeso a GRANEL	100g/45ml	1000g/450ml
4.Yeso FERRETERIA	100g/45ml	1000g/450ml

- 3.2 La mezcla fue realizada por el investigador principal de manera manual en el laboratorio de biomateriales de la facultad de estomatología de la BUAP.
- 3.3 Sé utilizó agua bidestilada y se midió con una taza medidora.
- 3.4 Sé peso el yeso con una báscula mecánica con cucharón de 2k.

- 3.5 Sé colocó el agua bidestilada en un recipiente plástico con capacidad de 2.3 litros y con una espátula sé incorporó el yeso con el agua, sin hacer movimientos vigorosos.
- 3.6 Sé dejó en reposo por 48hrs en el mismo lugar de la preparación y posteriormente se llevó al laboratorio ubicado en DITCo para poder iniciar el proceso de reciclaje.
4. En una mesa de metal se vació el bloque de yeso y sé rompió con un martillo, hasta llegar a tener trozos más pequeños de este, sé realizó este procedimiento con los 4 yesos y se limpió la mesa de metal y el martillo entre cada uno de ellos.
5. Posteriormente los trozos se introdujeron en un bote de metal, junto con 11 bolas metálicas, para que pudieran ser triturados, sé selló el bote con cinta intertape en todo el contorno de la tapa del bote y se colocó sobre la máquina U.S STONEWARE con número de serie: CZ04038, durante dos horas a una velocidad máxima de 100. Este procedimiento se realizó con los 4 yesos, el bote de metal y las bolas metálicas fueron perfectamente limpiadas y secadas entre cada yeso.
6. Al salir el yeso de la trituración, fue separado con una coladera y después el yeso fue pasado por un tamiz #200.
7. El yeso resultante se colocó en vasos precipitados con capacidad de 600ml, se deshidrató a través de un horno a una temperatura de 130°C por 4 horas.
8. Después de obtener el yeso reciclado, se almacenó en bolsas y fue pesado en una báscula analítica.

Ver anexo 4 para diagrama de obtención del yeso reciclado.

Preparación de muestras de yeso comercial

1. Para la cantidad de yeso y agua bidestilada necesaria para cada muestra, se dividió la cantidad recomendada entre 5.
2. Se prepararon 3 muestras por cada yeso.
3. Para poder pesar el yeso, sé utilizó una báscula analítica.
4. En una pipeta de 10ml se midió lo correspondiente de agua bidestilada para cada yeso.

Tabla 4. Relación polvo/agua para poder realizar las muestras de yeso comercial. Fuente propia.

Yeso	Proporción polvo/agua fabricante	Proporción polvo/agua para las muestras
1.Yeso VALDI	100g / 36c.c	20g/7.2ml
2.Yeso MDC	100g/ 41ml	20g/8.2ml
3.Yeso a GRANEL	100g/ 45ml	20g/9 ml
4.Yeso FERRETERIA	100g/ 45ml	20g/9 ml

5. Se utilizaron como moldes, vasos de 1oz biodegradables de la marca “Primo”, estos fueron recortados del borde superior con un disco metálico.

6. Se agregó el yeso al agua y se fue incorporando poco a poco el polvo con una espátula metálica.
7. Sé cronometró desde que el yeso tuvo contacto con el agua.
8. Sé utilizo un vibrador para poder tener una mezcla sin burbujas de aire.

Preparación de muestras de yeso reciclado

1. Debido a la cantidad de yeso reciclado obtenido se decidió realizar muestras con la mitad de yeso y agua bidestilada, surgiendo diferentes variaciones entre cada yeso.
2. Se prepararon 3 muestras por cada yeso.
3. Para poder pesar el yeso, sé utilizó una báscula analítica.
4. En una pipeta de 10ml se midió lo correspondiente de agua bidestilada para cada yeso.

Tabla 5. Relación polvo/agua para poder realizar las muestras de yeso reciclado. Fuente propia.

Yeso	Proporción polvo/agua yeso comercial	Proporción polvo/agua yeso reciclado
1.Yeso VALDI	100g / 36c.c	8g/3.8ml
2.Yeso MDC	100g/ 41ml	8g/4.3ml
3.Yeso a GRANEL	100g/ 45ml	10g/4.5ml
4.Yeso FERRETERIA	100g/ 45ml	10g/4.6ml

5. Se utilizaron como moldes, vasos de 1oz biodegradables de la marca "Primo", estos fueron recortados del borde superior con un disco metálico, el recorte realizado para estas muestras fue mayor debido a la menor cantidad de polvo/agua que recibieron.
6. Se agregó el yeso al agua y se fue incorporando poco a poco el polvo con una espátula metálica.
7. Sé cronometró desde que el yeso tuvo contacto con el agua.
8. En algunos sé utilizo un vibrador para poder tener una mezcla sin burbujas de aire.

Indicaciones para las pruebas físicas, químicas y mecánicas

Para las pruebas del yeso dental comercial y reciclado la temperatura fue de 23°C +/- 2°C, con una humedad de 50% +/-10%, todos los instrumentos que se utilizaron se encontraban secos, limpios y libres de partículas de yeso. El yeso y los instrumentos estaban almacenados en el mismo ambiente donde se realizaron las pruebas desde 24 horas antes, de esta manera se encontraban estables con la temperatura.

Las siguientes pruebas fueron realizadas en el laboratorio de biomateriales de la Facultad de Estomatología de la BUAP:

1. Inspección visual u Homogeneidad: sé realizó sin ningún tipo de aumento y sirvió para observar que el polvo fuera uniforme, sin cuerpos extraños y grumos.

2. Tiempo de fraguado: No se contaba con el penetrómetro como lo pide la norma ISO 6873:2013, se realizó una adaptación de la aguja Gillmore como lo sugiere Anusavice (3), para su realización se necesitó un clavo de 2mm de diámetro y otro de 1mm de diámetro, su peso debería ser de 113.4g para el de 2mm y 453.6g para el de 1mm, se utilizó como molde un vaso de 37mm de alto, diámetro inferior de 25mm y diámetro superior de 41mm, para el clavo de mayor diámetro y 1 vaso de 87mm de alto, diámetro inferior de 51mm y diámetro superior de 72mm, para el clavo de menor diámetro, este se rellenó con una mezcla de yeso, se colocó el clavo al centro de este y se fue pesando en una báscula mecánica hasta lograr el peso necesario. Se utilizó un soporte de laboratorio con un brazo metálico que fue posicionado a 27mm para las pruebas de yeso comercial y se bajó 1mm para las pruebas de yeso reciclado. La adaptación de la aguja Gillmore se ajustó en el brazo metálico con hilo cáñamo para que pudiera quedar colgando.

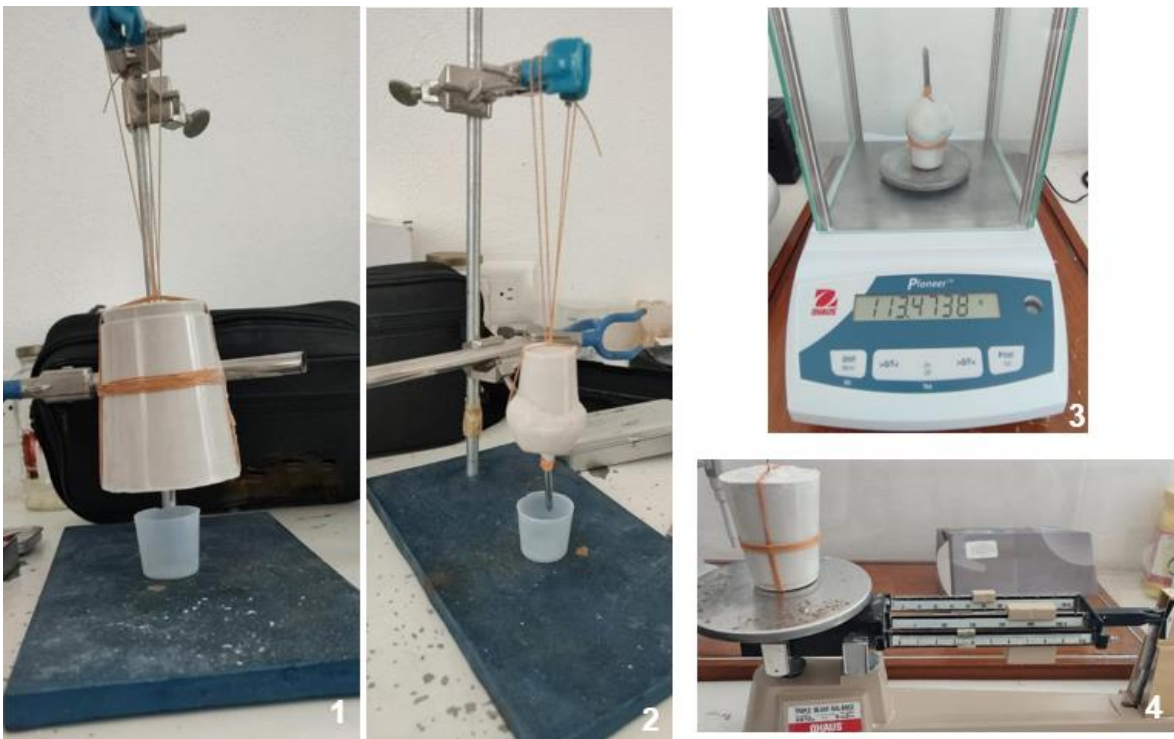


Figura 3. Se muestran las adaptaciones aguja Gillmore que se utilizaron. En la imagen 1 y 4 se observa la adaptación de 453.6g con 1mm de diámetro en la punta. En la imagen 2 y 3 se observa la adaptación de 113.4g con 2mm de diámetro en la punta. Fuente propia.

Sé posicionó la muestra debajo de la adaptación de la aguja Gillmore a no menos de 4mm, se soltaba la aguja a diferentes tiempos, teniendo 5 marcas con la adaptación menos pesada y 1 marca con la adaptación más pesada para los yesos

comerciales y 3 marcas con la adaptación menos pesada y 1 marca con la adaptación más pesada para los yesos reciclados; la adaptación de la aguja Gillmore se limpiaba entre cada marca.

Se registró el tiempo de fraguado desde el inicio de la mezcla hasta el momento en que la adaptación más pesada tuvo contacto con la mezcla y este fue el tiempo total.

Cada marca que dejaron las adaptaciones de la aguja Gillmore, tenían cierta profundidad, que fue medida con una sonda periodontal tipo OMS.

3. Evaluación de la expansión de ajuste lineal: después de haber incorporado el yeso con el agua y haberlo pasado por vibrador por 30s, según cada yeso, se realizó una marca fina con un plumón y se midió con un vernier, desde la base del molde hasta la marca, una hora después se midió nuevamente.



Figura 4. Se muestra en la imagen 1 como fue la marca realizada en todas las muestras y en la imagen 2 se observa el vernier que se utilizó para las mediciones. Fuente propia.

4. Fuerza de compresión: durante la realización de las muestras y como ya se ha mencionado, se pasó por vibrador 30s a los yesos que el tiempo lo permitió, después de una hora de realizadas las muestras se procedió a retirar el vaso de plástico rompiéndolo por los lados y deslizando de la muestra, se intentó dejar una superficie plana de la muestra.

Se utilizó la máquina Instron 4465 con número de serie UK1179, en donde se posicionó la muestra al centro de dos platinas, la superior se acercó lo más posible a las muestras, tocándolas ligeramente.



Figura 5. Se muestra en la imagen 1 la máquina Instron 4465 UK1179 con la que se realizaron las pruebas de fuerza de compresión. Fuente propia.

En el programa Instron Bluehill se configuró la máquina con las medidas de las muestras, para ambos yesos el diámetro fue de 30mm, para el yeso comercial la altura fue de 24mm y para el yeso reciclado fue de 12mm, además la velocidad que se utilizó fue de 2mm/min, la extensión de la compresión fue de 4.5mm, se calibró y balanceó a cero para poder iniciar la prueba.

Se registró la máxima fuerza aplicada, este se utilizó para calcular el valor de la tensión de fractura por compresión, para su evaluación se utilizó la siguiente fórmula: $S = F/314$, donde S es la tensión de fractura por compresión expresada en megapascales y F es la fuerza máxima registrada expresada en newtons.

5. Reproducción de detalles: No se realizó esta prueba, debido a que no se contaba con un molde de anillo o de herradura que tuviera una rugosidad de la superficie estriada y de los lados de las ranuras de N3 ($R_a = 0,1 \mu\text{m}$) y que todas las demás superficies midieran N5 ($R_a = 0,4 \mu\text{m}$) con un radio máximo de cada una de las ranuras de $5 \mu\text{m}$.

Las siguientes pruebas fueron realizadas en el laboratorio de Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento (DITCo) que se encuentra en Ciudad Universitaria de la BUAP:

1. Pureza química: para esta prueba se necesitó aproximadamente un gramo de cada yeso, que se colocó sobre una cinta doble cara que estaba pegada en un porta muestras para SEM, esto para poder fijar las muestras y que pudieran ingresar al microscopio electrónico de barrido "JEOL JSM-6610LV" en donde también estaba una sonda de espectroscopia de dispersión, se analizaron las muestras con 1 minuto de radiación y se hicieron 3 barridos por muestra, el estudio se hizo en alto vacío a 10 mm de distancia de trabajo y apertura de 60 spot size, con aceleración

de 20kve (kilo electrón volt). Con esto obtuvimos el promedio del análisis químico elemental en porcentaje en peso.



Figura 6. Se muestra en la imagen 1 como se recolecto la muestra de yeso en los--- y en la imagen 2 se observa cómo se encontraban los porta muestras para SEM dentro del microscopio electrónico de barrido. Fuente propia.

2. Cristalinidad por medio de la microscopía electrónica de barrido: se requirió aproximadamente 5 mm^3 de cada yeso y se recubrió con oro en un evaporador, posteriormente se analizó en el microscopio “JEOL JSM-6610LV” en alto vacío a una distancia de trabajo de 10 mm y se seleccionó la apertura entre 20 y 60 spot size, con aceleración de voltaje entre 5 a 30kve según el comportamiento de la muestra, esto con el fin de identificar la presencia o ausencia de cristales.



Figura 7. Se muestra el microscopio electrónico de barrido, “JEOL JSM-6610LV”, que se utilizó para las pruebas. Fuente propia.

3. Fase de cristalinidad por medio de la difracción de rayos X: No se pudo realizar esta prueba, debido a que el difractómetro de rayos X se descompuso y tenía un tiempo indefinido para que lo pudieran arreglar, también por tiempo limitado, no se pudo buscar en otra universidad.

Ver anexo 5 para diagrama de pruebas físicas, químicas y mecánicas.

8.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- Estadística descriptiva de acuerdo con el tipo de variable: mediana, desviación estándar y gráficos si así lo requiere.
- Para las variables cuantitativas utilizaremos t de student para comparar los valores obtenidos entre el yeso comercial, el yeso reciclado.
- ANOVA de un factor entre grupos para comparar las medias de todos los grupos de yeso para cada variable cuantitativa.
- Se utilizará el programa IBM SPSS STATISTICS.

8.9 LOGÍSTICA

8.9.1 RECURSOS HUMANOS

- Alumno/Investigador
- Responsable del proyecto
- Director Metodológico
- Director Disciplinario
- Asesor Externo

8.9.2 RECURSOS MATERIALES

- Yeso tipo II
- Molino de piedra
- Mufla
- Adaptación de aguja Gillmore
- Tamiz #200
- Máquina Instron
- Vernier
- Microscopio electrónico de barrido
- Sonda de EDS
- Difractómetro de Rayos X

8.9.3 RECURSOS FINANCIEROS

Se utilizaron recursos propios del tesista-investigador para la fabricación de las adaptaciones de aguja Gillmore y la obtención de los yesos.

Los aparatos utilizados son propiedad de la BUAP.

9.- BIOSEGURIDAD

La presente investigación, fue un estudio piloto de reciclaje, que no estuvo en contacto con ningún material que haya sido usado en boca y no se manejó residuos peligrosos, no representó ningún riesgo para la salud.

10.- RESULTADOS

De un kilo de yeso comercial se obtuvo lo siguiente cantidad en gramos de yeso reciclado.

Tabla 6. Resultado de la obtención de yeso reciclado de las diferentes marcas. Fuente propia.

Yeso reciclado de VALDI	118.3640g
Yeso reciclado de MDC	99.5375g
Yeso reciclado de a GRANEL	69.0397g
Yeso reciclado de FERRETERIA	192.1986g

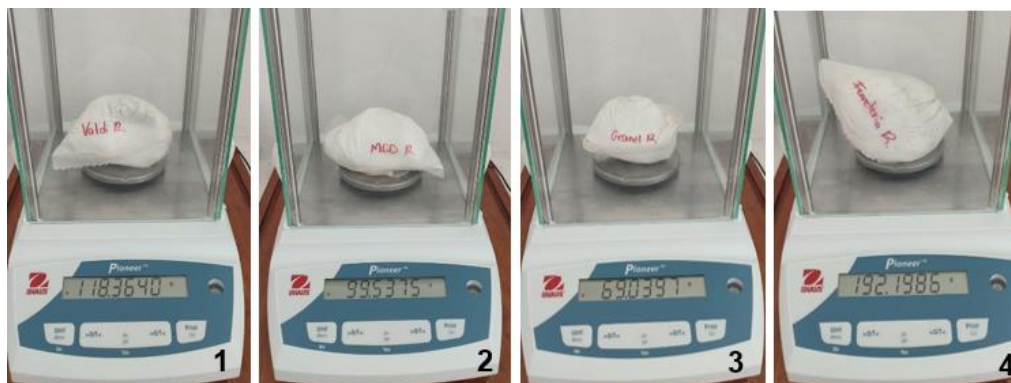


Figura 8. En la figura 1 se observa el peso para el yeso reciclado de VALDI, en la figura 2 se observa el peso para el yeso reciclado de MDC, en la figura 3 se observa el peso para el yeso reciclado de GRANEL y en la figura 4 se observa el peso para el yeso reciclado de FERRETERIA. Fuente propia.

Se realizaron 3 muestras de cada yeso, teniendo un total de 24 muestras.

10.1. Inspección visual u Homogeneidad:

Al abrir la bolsa de los yesos comerciales se pudo observar lo siguiente:

Tabla 7. Resultado de la inspección visual u homogeneidad del yeso comercial. Fuente propia.

	Homogeneidad
Yeso comercial VALDI	Polvo blanco, de aspecto uniforme, sin cuerpos extraños ni grumos.
Yeso comercial MDC	Polvo blanco, de aspecto uniforme, sin cuerpos extraños ni grumos.
Yeso comercial a GRANEL	Polvo blanco grisáceo, de aspecto uniforme, sin cuerpos extraños ni grumos.
Yeso comercial FERRETERIA	Polvo blanco grisáceo, con aspecto irregular, con cuerpos extraños y grumos.



Figura 9. En la figura 1 se observa la apariencia del yeso comercial VALDI, en la figura 2 se observa la apariencia del yeso comercial MDC, en la figura 3 se observa la apariencia del yeso comercial a GRANEL y en la figura 4 se observa la apariencia del yeso comercial FERRETERIA. Fuente propia.

Después de obtener el yeso reciclado se pudo observar lo siguiente:

Tabla 8. Resultado de la inspección visual u homogeneidad del yeso reciclado. Fuente propia.

	Homogeneidad
Yeso reciclado de VALDI	Polvo blanco sin cuerpos extraños, con ligera formación de grumos.
Yeso reciclado de MDC	Polvo blanco sin cuerpos extraños, con ligera formación de grumos.
Yeso reciclado de a GRANEL	Polvo blanco grisáceo, de aspecto uniforme, sin cuerpos extraños ni grumos.
Yeso reciclado de FERRETERIA	Polvo blanco grisáceo, sin cuerpos extraños y con ligera formación de grumos.

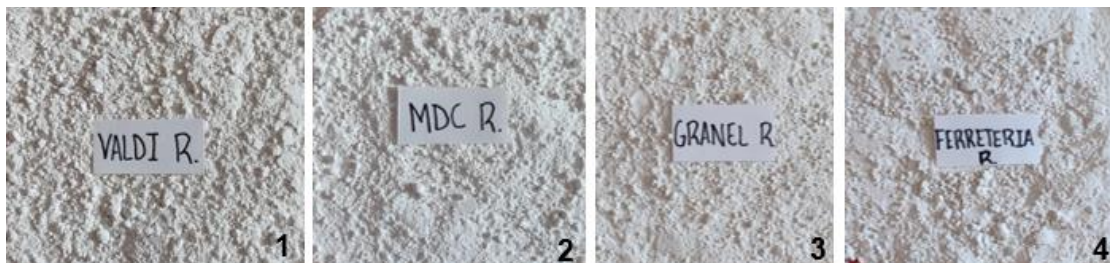


Figura 10. En la figura 1 se observa la apariencia del yeso reciclado de VALDI, en la figura 2 se observa la apariencia del yeso reciclado de MDC, en la figura 3 se observa la apariencia del yeso reciclado de a GRANEL y en la figura 4 se observa la apariencia del yeso reciclado de FERRETERIA. Fuente propia.

10.2. Tiempo de fraguado:

En todos los yesos se cronometró el tiempo desde el primer momento en que el yeso hizo contacto con el agua.

Para el yeso reciclado se decidió utilizar menor proporción de polvo debido a la cantidad de yeso obtenido, para poder llegar a la relación de polvo/agua fue prueba y error.

Los 4 yesos comerciales, el yeso reciclado de MDC y el yeso reciclado de a Granel fueron llevados al vibrador por 30s.

Se utilizó la adaptación de la aguja Gillmore de 113.4g para realizar 5 marcas iniciales en los yesos comerciales y 3 en reciclados, al final se utilizó la adaptación de la aguja Gillmore de 453.6g para realizar una última marca. En cada yeso se hizo la prueba a tiempos diferentes, para poder medir su tiempo de fraguado inicial y final.

Las marcas dejadas fueron medidas con una sonda periodontal tipo OMS, 5 minutos después de que se realizó la última marca.

Yeso comercial VALDI

Según el fabricante, este yeso tiene un tiempo de fraguado que va de 7-10min

La proporción de polvo/ agua fue: 20g/7.2ml

Tabla 9. Resultado de la medición con sonda periodontal tipo OMS de las marcas dejadas en el yeso comercial VALDI por las adaptaciones de las agujas Gillmore. Fuente propia.

Minuto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
7:00	7 mm	7 mm	7 mm
7:30	6 mm	6 mm	6 mm
8:00	5 mm	5 mm	5 mm
8:30	4 mm	4 mm	4 mm
9:00	3 mm	3 mm	4 mm
9:30	1 mm	1 mm	2 mm

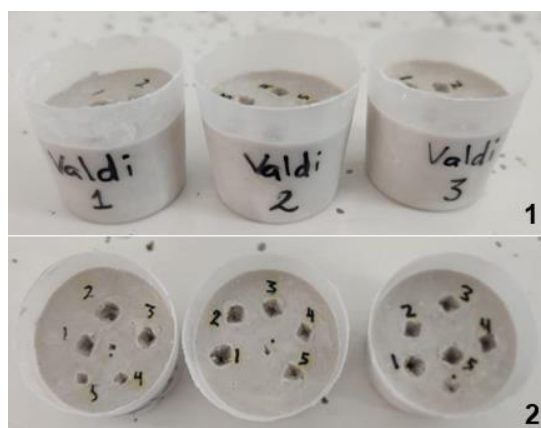


Figura 11. En la figura 1 se observan las 3 muestras realizadas de yeso comercial VALDI, en la figura 2 se observan las marcas realizadas con las adaptaciones de aguja Gillmore. Fuente propia.

Yeso reciclado de VALDI

Se encontró que si se utilizaba 10g/3.6ml la manipulación era difícil y la consistencia era grumosa, por lo que se decidió bajar la cantidad de polvo y subir la cantidad de agua, llegando a la proporción polvo/agua de 8g/3.8 ml, la cual nos dio un resultado aceptable para la manipulación, pero el tiempo de trabajo fue menor a 1 minuto.

Tabla 10. Resultado de la medición con sonda periodontal tipo OMS de las marcas dejadas en el yeso reciclado de VALDI por las adaptaciones de las agujas Gillmore. Fuente propia.

Minuto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
1:30	6 mm	6 mm	6 mm
2:00	4 mm	4 mm	4 mm
2:30	2 mm	2 mm	2 mm
3:00	1 mm	0.5 mm	0.5 mm

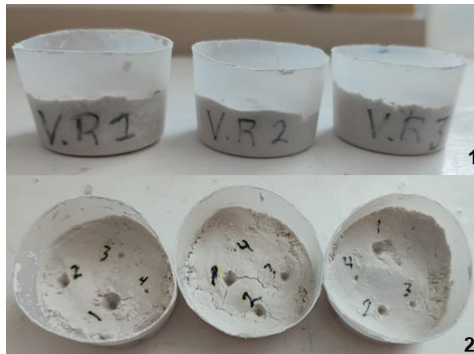


Figura 12. En la figura 1 se observan las 3 muestras realizadas de yeso reciclado de VALDI, en la figura 2 se observan las marcas realizadas con las adaptaciones de aguja Gillmore. Fuente propia.

Yeso comercial MDC

Según el fabricante, este yeso tiene un tiempo de fraguado que va de 6-8min

La proporción de polvo/ agua fue: 20g/8.2ml

Al minuto 6, que debería iniciar su tiempo de fraguado, el yeso se encontraba todavía muy líquido.

Tabla 11. Resultado de la medición con sonda periodontal tipo OMS de las marcas dejadas en el yeso comercial MDC por las adaptaciones de las agujas Gillmore. Fuente propia.

Minuto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
8:00	9 mm	9 mm	9 mm
8:30	8 mm	8 mm	8 mm
9:00	7 mm	7 mm	7 mm
9:30	6 mm	6 mm	6 mm
10:00	5 mm	5 mm	5 mm
10:30	3 mm	3 mm	3 mm

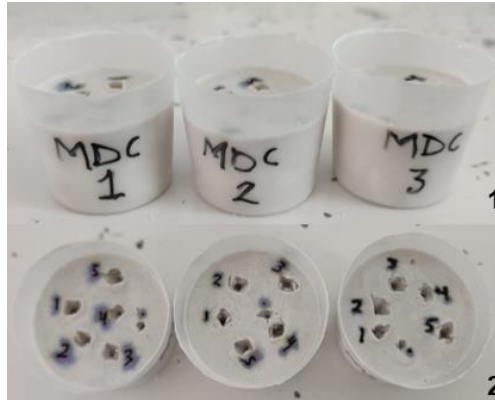


Figura 13. En la figura 1 se observan las 3 muestras realizadas de yeso comercial MDC, en la figura 2 se observan las marcas realizadas con las adaptaciones de aguja Gillmore. Fuente propia.

Yeso reciclado de MDC

Se llegó a la proporción polvo/agua de 8g/4.3 ml, la cual nos dio un resultado aceptable, un tiempo de trabajo de 1 minuto y una buena manipulación.

Tabla 12. Resultado de la medición con sonda periodontal tipo OMS de las marcas dejadas en el yeso reciclado de MDC por las adaptaciones de las agujas Gillmore. Fuente propia.

Minuto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
2:30	9 mm	9 mm	9 mm
3:00	7 mm	7 mm	7 mm
3:30	5 mm	5 mm	5 mm
4:00	Sólo dejó marca	Sólo dejó marca	Sólo dejó marca



Figura 14. En la figura 1 se observan las 3 muestras realizadas de yeso reciclado de MDC, en la figura 2 se observan las marcas realizadas con las adaptaciones de aguja Gillmore. Fuente propia.

Yeso comercial a GRANEL

No existe reporte del fabricante sobre el tiempo de fraguado.

La proporción de polvo/ agua fue: 20g/9ml

Desde el primer momento que hizo contacto el yeso con el agua, empezó a correr el tiempo.

Tabla 13. Resultado de la medición con sonda periodontal tipo OMS de las marcas dejadas en el yeso comercial de GRANEL por las adaptaciones de las agujas Gillmore. Fuente propia.

Minuto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
3:00	8 mm	8 mm	8 mm
3:30	7 mm	7 mm	7 mm
4:00	4 mm	5 mm	4 mm
4:30	3 mm	4 mm	3 mm
5:00	2 mm	3 mm	2 mm
5:30	1 mm	1 mm	1 mm



Figura 15. En la figura 1 se observan las 3 muestras realizadas de yeso comercial a GRANEL, en la figura 2 se observan las marcas realizadas con las adaptaciones de aguja Gillmore. Fuente propia.

Yeso reciclado de a GRANEL

Para este yeso reciclado, la proporción polvo/agua fue la misma utilizada que en el yeso comercial, pero a la mitad, (10g/4.5ml), por la cantidad de yeso reciclado obtenido, dando como resultado un tiempo de trabajo adecuado de 1 minuto, buena manipulación y mayor tiempo de fraguado que el comercial.

Tabla 14. Resultado de la medición con sonda periodontal tipo OMS de las marcas dejadas en el yeso reciclado de GRANEL por las adaptaciones de las agujas Gillmore. Fuente propia.

Minuto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
6:30	7 mm	7 mm	7 mm
7:00	6 mm	6 mm	6 mm
7:30	4 mm	4 mm	4 mm
8:00	4 mm	4 mm	4 mm



Figura 16. En la figura 1 se observan las 3 muestras realizadas de yeso reciclado de GRANEL, en la figura 2 se observan las marcas realizadas con las adaptaciones de aguja Gillmore. Fuente propia.

Yeso comercial FERRETERIA

No existe reporte del fabricante sobre el tiempo de fraguado.

La proporción de polvo/ agua fue: 20g/9ml

Tabla 15. Resultado de la medición con sonda periodontal tipo OMS de las marcas dejadas en el yeso comercial de FERRETERIA por las adaptaciones de las agujas Gillmore. Fuente propia.

Minuto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
7:00	7 mm	7 mm	7 mm
7:30	6 mm	6 mm	6 mm
8:00	5 mm	5 mm	5 mm
8:30	4 mm	4 mm	4 mm
9:00	2 mm	2 mm	2 mm
9:30	1 mm	1 mm	1 mm



Figura 17. En la figura 1 se observan las 3 muestras realizadas de yeso comercial FERRETERIA, en la figura 2 se observan las marcas realizadas con las adaptaciones de aguja Gillmore. Fuente propia.

Yeso reciclado de FERRETERIA

Este yeso fue el más complicado de poder obtener la proporción polvo/agua.

Se intentó dejar la misma proporción polvo/agua que el yeso comercial, (20g/9ml), debido a que teníamos mayor cantidad de yeso reciclado, pero se obtuvo una consistencia espesa muy rápida y todavía faltaba $\frac{1}{4}$ del polvo, se decidió agregar más agua, redondeándola en 10ml.

Se hicieron pruebas con diferentes proporciones, 18g/10ml, 16g/10ml y 15g/10ml, todas se realizaron alrededor de las 5:00pm y al día siguiente a las 11:00am las muestras de 16g/10ml y 15g/10ml seguían sin fraguar y tenían una consistencia espesa, la muestra de 18g/10ml se veía aparentemente fraguada pero aun permitía la entrada de un clavo de 1.3mm de diámetro.

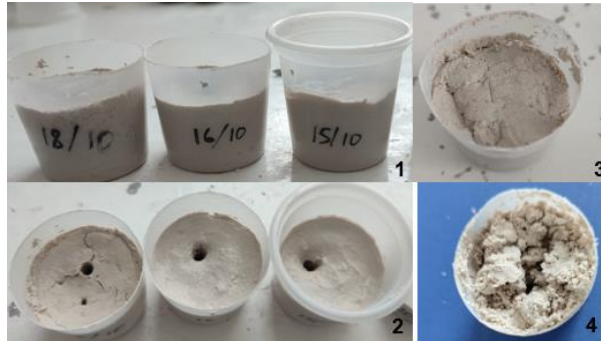


Figura 18. En la figura 1 se observan las pruebas iniciales con diferentes proporciones, en la figura 2 se observa la consistencia en la que se encontraron las muestras al día siguiente y la marca que dejó el clavo, en la figura 3 y 4 se aprecia la consistencia que tuvieron las pruebas con las mismas proporciones que el yeso comercial. Fuente propia.

Se realizó otra prueba con una proporción de 10g/4.6ml, se subió 0.1ml de la proporción original con la que se hizo el yeso comercial, nos dio como resultado un tiempo de trabajo menor al minuto, una manipulación difícil, por lo cual no se pudo llevar al vibrador y para poder obtener una superficie plana tuvo que ser compactada de forma manual; está fue la prueba que más se acercó para poder realizar las muestras y se dejó esta proporción polvo/agua, 10g/4.6ml.

Tabla 16. Resultado de la medición con sonda periodontal tipo OMS de las marcas dejadas en el yeso reciclado de FERRETERIA por las adaptaciones de las agujas Gillmore. Fuente propia.

Minuto	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
5:00	6 mm	6 mm	6 mm
5:30	4 mm	4 mm	4 mm
6:00	2 mm	2 mm	2 mm
6:30	1 mm	1 mm	1 mm



Figura 19. En la figura 1 se observan las 3 muestras realizadas de yeso reciclado de FERRETERIA, en la figura 2 se observan las marcas realizadas con las adaptaciones de aguja Gillmore. Fuente propia.

10.3. Evaluación de la expansión de ajuste lineal

Las marcas realizadas en las muestras fueron medidas con un vernier, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 17. Resultado de la medición de expansión del yeso comercial VALDI con vernier, al término de la mezcla y 1 hora después. Fuente propia.

Yeso comercial VALDI, 0.20% de expansión al fraguado		
	Al término de la mezcla	1 hora después
Muestra 1	22 mm	22 mm
Muestra 2	22 mm	22 mm
Muestra 3	22 mm	22 mm

Tabla 18. Resultado de la medición de expansión del yeso reciclado de VALDI con vernier, al término de la mezcla y 1 hora después. Fuente propia.

Yeso reciclado de VALDI, sin datos de expansión al fraguado		
	Al término de la mezcla	1 hora después
Muestra 1	11 mm	11.2 mm
Muestra 2	11 mm	11.2 mm
Muestra 3	11 mm	11.2 mm

Tabla 19. Resultado de la medición de expansión del yeso comercial MDC con vernier, al término de la mezcla y 1 hora después. Fuente propia.

Yeso comercial MDC, 0.20% de expansión al fraguado		
	Al término de la mezcla	1 hora después
Muestra 1	22 mm	22 mm
Muestra 2	22 mm	22 mm
Muestra 3	22 mm	22 mm

Tabla 20. Resultado de la medición de expansión del yeso reciclado de MDC con vernier, al término de la mezcla y 1 hora después. Fuente propia.

Yeso reciclado de MDC, sin datos de expansión al fraguado		
	Al término de la mezcla	1 hora después
Muestra 1	12 mm	12.1 mm
Muestra 2	11 mm	11.1 mm
Muestra 3	11 mm	11.1 mm

Tabla 21. Resultado de la medición de expansión del yeso comercial GRANEL con vernier, al término de la mezcla y 1 hora después. Fuente propia.

Yeso comercial a GRANEL, sin datos de expansión al fraguado		
	Al término de la mezcla	1 hora después
Muestra 1	24 mm	24 mm
Muestra 2	24 mm	24 mm
Muestra 3	24 mm	24 mm

Tabla 22. Resultado de la medición de expansión del yeso reciclado de GRANEL con vernier, al término de la mezcla y 1 hora después. Fuente propia.

Yeso reciclado de a GRANEL, sin datos de expansión al fraguado		
	Al término de la mezcla	1 hora después
Muestra 1	11 mm	11.1 mm

Muestra 2	11 mm	11.1 mm
Muestra 3	11 mm	11.1 mm

Tabla 23. Resultado de la medición de expansión del yeso comercial FERRETERIA con vernier, al término de la mezcla y 1 hora después. Fuente propia.

Yeso comercial FERRETERIA, sin datos de expansión al fraguado		
	Al término de la mezcla	1 hora después
Muestra 1	23 mm	23 mm
Muestra 2	23 mm	23 mm
Muestra 3	23 mm	23 mm

Tabla 24. Resultado de la medición de expansión del yeso reciclado de FERRETERIA con vernier, al término de la mezcla y 1 hora después. Fuente propia.

Yeso reciclado de FERRETERIA, sin datos de expansión al fraguado		
	Al término de la mezcla	1 hora después
Muestra 1	13 mm	13 mm
Muestra 2	13 mm	13 mm
Muestra 3	13 mm	13 mm

10.4. Fuerza de compresión

Se presentan las fotografías de las 3 muestras que se realizaron para cada yeso, en donde se puede apreciar el momento previo al inicio de la prueba, el momento final de la prueba y la separación de las platinas.

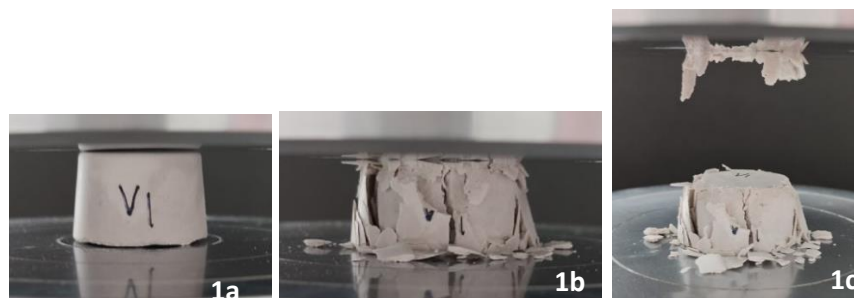
En los gráficos se puede observar el comportamiento de las 3 muestras de cada yeso.

En las tablas se puede observar a mayor detalle la deformación por compresión al máximo, el máximo de carga de compresión y la carga de compresión a la rotura, para cada yeso.

Se realizó la fórmula que especifica la norma ISO 6873:2013 para poder obtener el valor de la tensión de fractura por compresión expresada en megapascales, para cada yeso.

$S = F/314$, donde F es la fuerza máxima registrada expresada en newtons

Yeso comercial VALDI



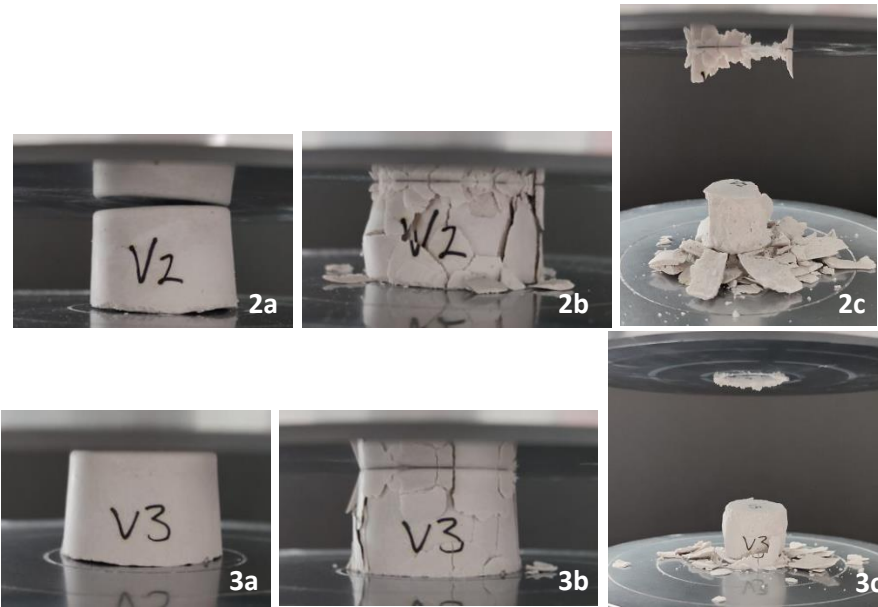


Figura 20. Pruebas de fuerza de compresión de yeso comercial VALDI. En las imágenes 1a, 2a y 3a se aprecia el momento previo a iniciar la prueba de fuerza de compresión en las muestras, en las imágenes 1b, 2b y 3b se observa el momento final de la prueba y en las imágenes 1c, 2c y 3c se aprecia el resultado final después de levantar las platinas. Fuente propia.

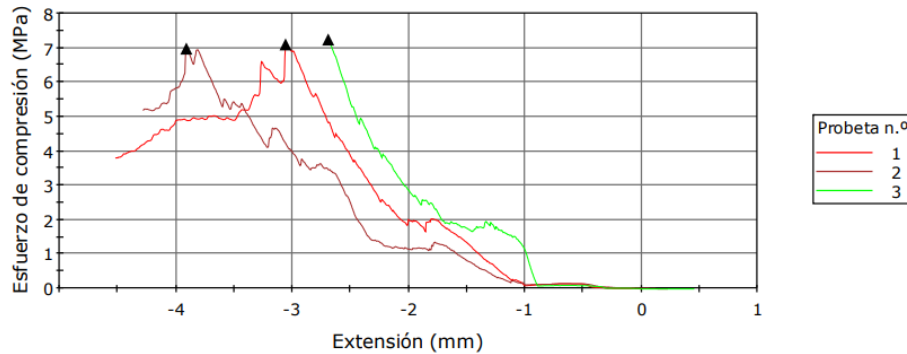


Gráfico 1. Yeso comercial VALDI. Se puede apreciar que el esfuerzo de compresión máximo para las 3 pruebas fue muy similar, en 7MPa, entre los 2.5mm y 4mm de extensión. Fuente propia.

Tabla 25. Resultado de la prueba de fuerza de compresión, realizada en las 3 muestras del yeso comercial VALDI. Fuente propia.

	Deformación por compresión Carga de compresión Máximo (mm/mm)	Máximo Carga de compresión (N)	Carga de compresión Rotura (Estándar) (kgf)
1	0.13287	-5012.09021	273.74996
2	0.17970	-4927.51986	373.25796
3	0.13656	-5112.76007	521.35645

Muestra 1: $5012.09021 \text{ N}/314 = 15.9620 \text{ MPa}$

Muestra 2: $4927.51986 \text{ N}/314 = 15.6927 \text{ MPa}$

Muestra 3: $5112.76007 \text{ N}/314 = 16.2826 \text{ MPa}$

Yeso reciclado de VALDI

En la figura 21 se muestra que, al sacar el yeso para la prueba, el recipiente plástico no quedó limpio.



Figura 21. Se puede apreciar como al retirar el yeso del recipiente, este no quedó limpio. Fuente propia.

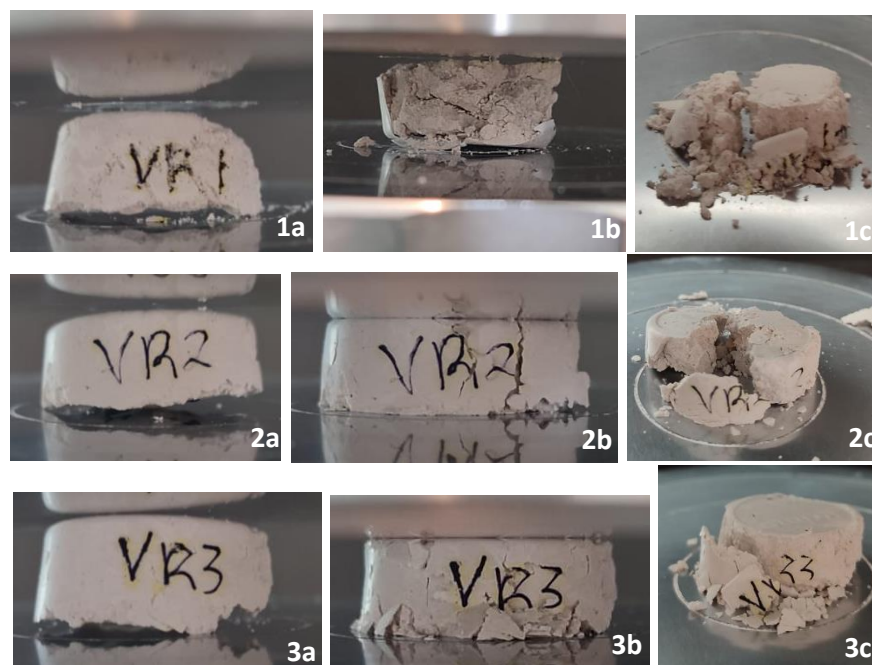


Figura 22. Pruebas de fuerza de compresión de yeso reciclado VALDI. En las imágenes 1a, 2a y 3a se aprecia el momento previo a iniciar la prueba de fuerza de compresión en las muestras, en las imágenes 1b, 2b y 3b se observa el momento final de la prueba y en las imágenes 1c, 2c y 3c se aprecia el resultado final después de levantar las platinas. Fuente propia.

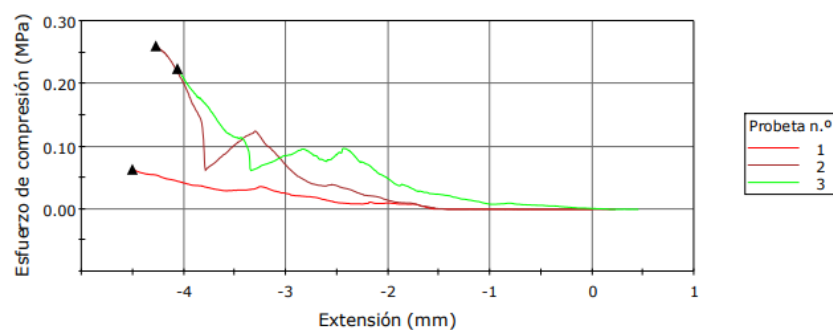


Gráfico 2. Yeso reciclado de VALDI. Se puede apreciar el comportamiento de la muestra 2 y 3 que tuvo un esfuerzo de compresión máximo de 0.25 MPa entre los 4mm y 4.5mm, para la muestra 1 su esfuerzo de compresión máximo fue de 0.06MPa aproximadamente a los 4.5mm de extensión. Fuente propia.

Tabla 26. Resultado de la prueba de fuerza de compresión, realizada en las 3 muestras del yeso reciclado de VALDI.
Fuente propia.

	Deformación por compresión Carga de compresión (mm/mm)	Máximo Carga de compresión (N)	Carga de compresión (Estándar) Rotura (kgf)
1	0.37511	-44.97000	4.58566
2	0.37468	-183.76000	18.72505
3	0.37593	-158.26000	16.13803

Muestra 1: $44.97000 \text{ N}/314 = 0.1432 \text{ MPa}$

Muestra 2: $183.76000 \text{ N}/314 = 0.5853 \text{ MPa}$

Muestra 3: $158.26000 \text{ N}/314 = 0.5040 \text{ MPa}$

Yeso comercial MDC

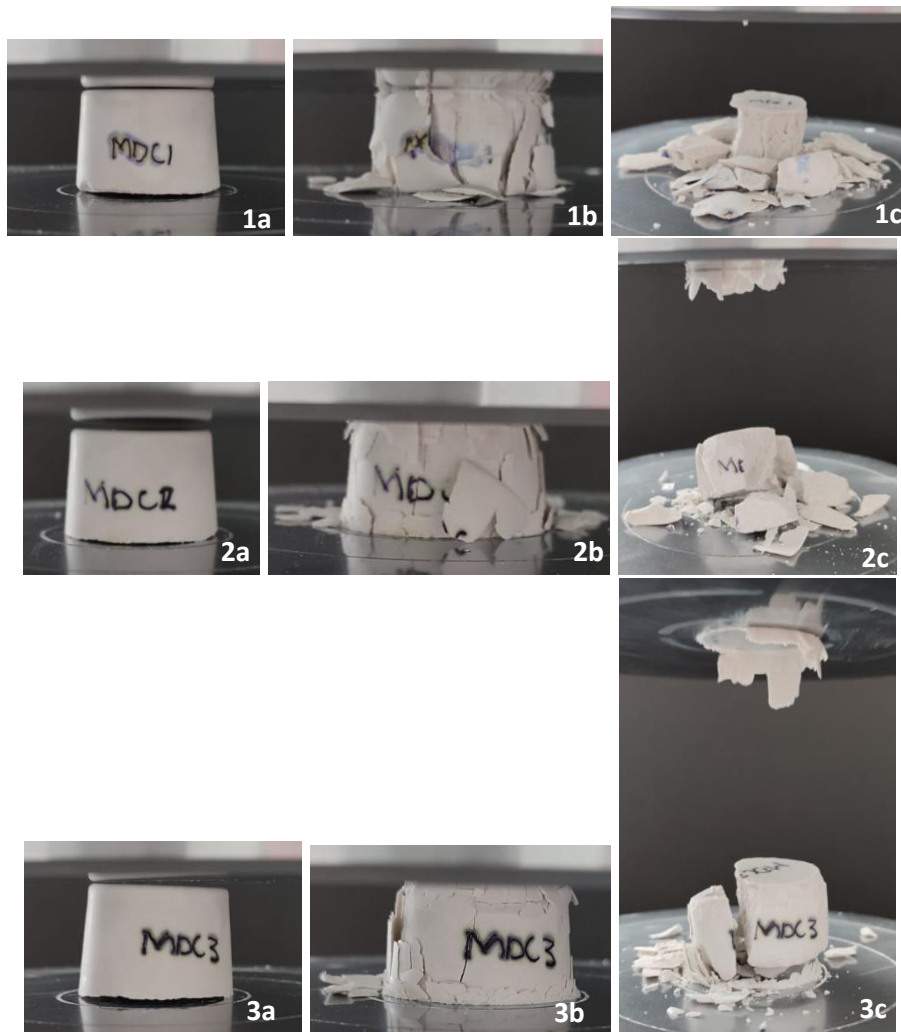


Figura 23. Pruebas de fuerza de compresión de yeso comercial MDC. En las imágenes 1a, 2a y 3a se aprecia el momento previo a iniciar la prueba de fuerza de compresión en las muestras, en las imágenes 1b, 2b y 3b se observa el momento final de la prueba y en las imágenes 1c, 2c y 3c se aprecia el resultado final después de levantar las platinas. Fuente propia.

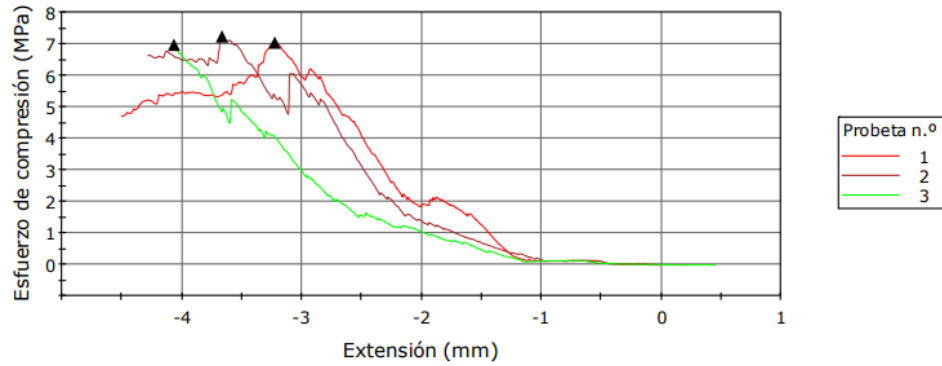


Gráfico 3. Yeso comercial MDC. Se puede apreciar que el comportamiento de las 3 muestras fue muy similar, teniendo un esfuerzo de compresión máximo de 7MPa entre los 3mm y 4.5mm de extensión. Fuente propia.

Tabla 27. Resultado de la prueba de fuerza de compresión, realizada en las 3 muestras del yeso comercial MDC. Fuente propia.

	Deformación por compresiónMáximo Carga de compresión (mm/mm)	Máximo Carga de compresión (N)	Carga de compresiónRotura (Estándar) (kgf)
1	0.14013	-4970.47007	339.17596
2	0.16897	-5106.04978	475.91381
3	0.19621	-4922.15008	501.91961

Muestra 1: $4970.47007 \text{ N}/314 = 15.8295 \text{ MPa}$

Muestra 2: $5106.04978 \text{ N}/314 = 16.2613 \text{ MPa}$

Muestra 3: $4922.15008 \text{ N}/314 = 15.6756 \text{ MPa}$

Yeso reciclado de MDC



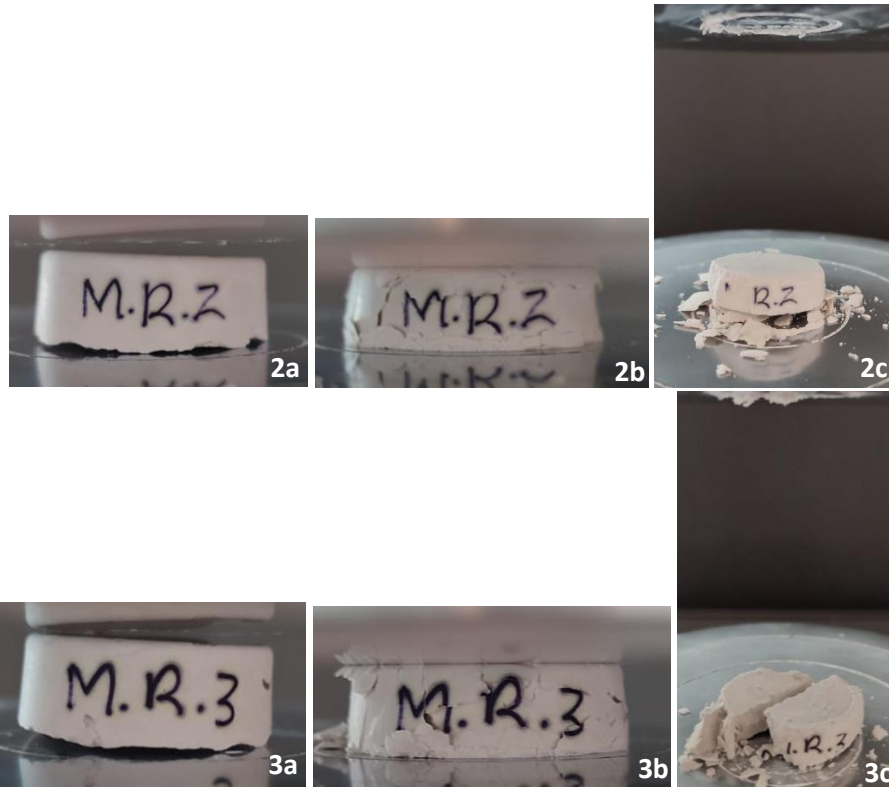


Figura 24. Pruebas de fuerza de compresión de yeso reciclado MDC. En las imágenes 1a, 2a y 3a se aprecia el momento previo a iniciar la prueba de fuerza de compresión en las muestras, en las imágenes 1b, 2b y 3b se observa el momento final de la prueba y en las imágenes 1c, 2c y 3c se aprecia el resultado final después de levantar las platinas. Fuente propia.

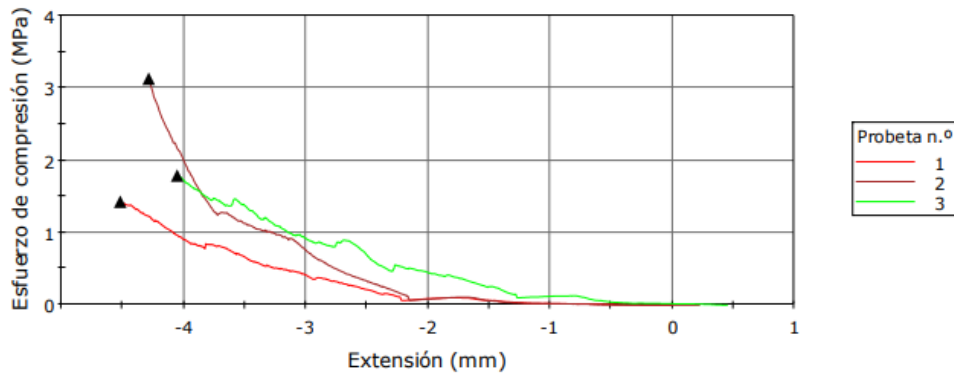


Gráfico 4. Yeso reciclado de MDC. Se puede apreciar el comportamiento de la muestra 2 que tuvo un esfuerzo de compresión máximo de más de 3MPa entre los 4mm y 4.5mm, para la muestra 1 y 3 su esfuerzo de compresión máximo fue de 1.4-1.8MPa entre los 4 y 4.5mm de extensión. Fuente propia.

Tabla 28. Resultado de la prueba de fuerza de compresión, realizada en las 3 muestras del yeso reciclado de MDC. Fuente propia.

	Deformación por compresión Máximo Carga de compresión (mm/mm)	Máximo Carga de compresión (N)	Carga de compresión Rotura (Estándar) (kgf)
1	0.37621	-1008.05998	102.79351
2	0.37552	-2206.71996	225.02281
3	0.37511	-1262.41997	128.73101

Muestra 1: 1008.05998 N/314= 3.2103 MPa

Muestra 2: 2206.71996 N/314= 7.0277 MPa

Muestra 3: 1262.41997 N/314= 4.0204 MPa

Yeso comercial a GRANEL

Para este yeso, la maquina Instron que se utilizó no nos dejó llegar a los 4.5mm debido a que se llegó al límite que puede ejercer la máquina, dando por entendido que la resistencia a la compresión se encuentra por arriba de los 5000N.

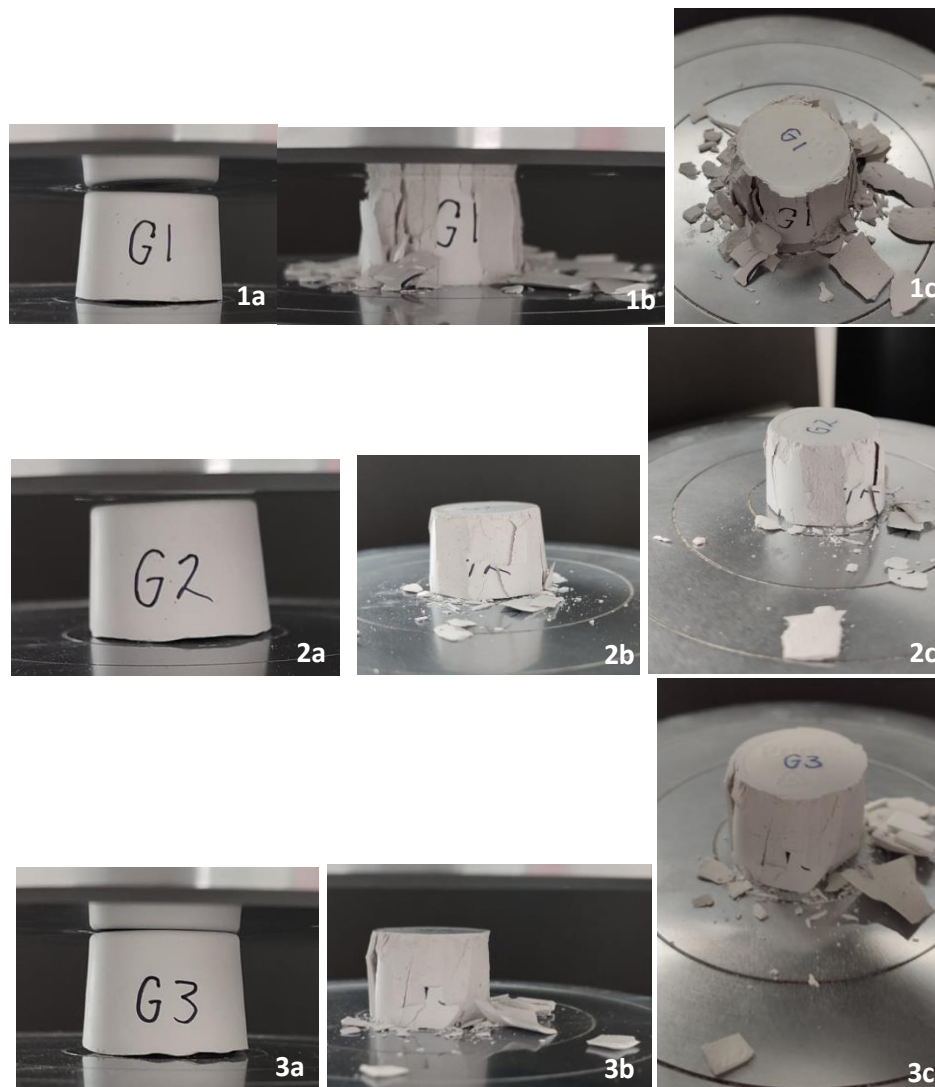


Figura 25. Pruebas de fuerza de compresión de yeso comercial a GRANEL. En las imágenes 1a, 2a y 3a se aprecia el momento previo a iniciar la prueba de fuerza de compresión en las muestras, en las imágenes 1b, 2b y 3b se observa el momento final de la prueba y en las imágenes 1c, 2c y 3c se aprecia el resultado final después de levantar las platinas. Fuente propia.

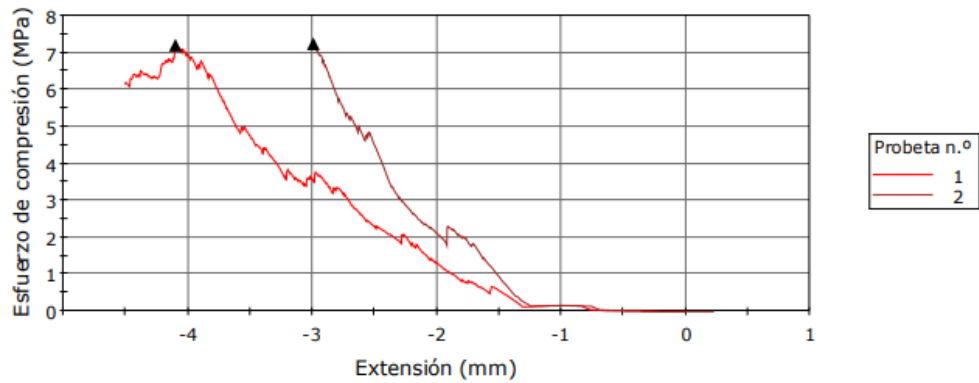


Gráfico 5. Yeso comercial a GRANEL. Se puede apreciar que el esfuerzo de compresión máximo entre la muestra 1 y 2 está en 7MPa entre los 3mm y 4.5mm de extensión. Fuente propia.

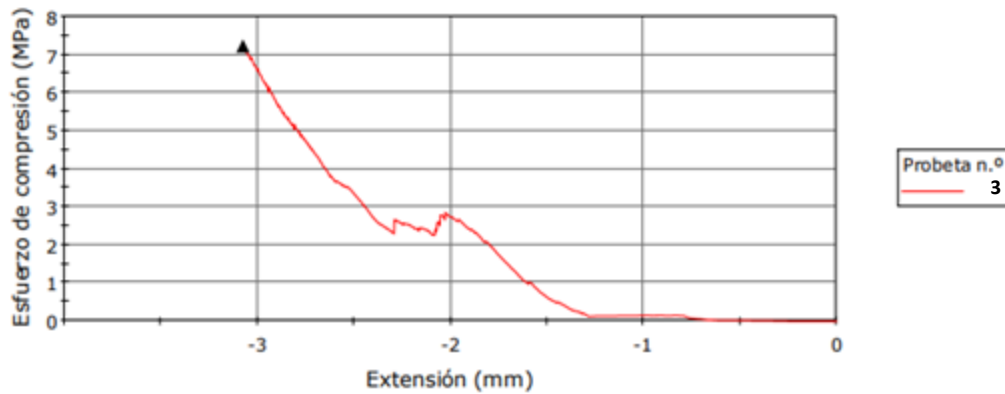


Gráfico 6. Yeso comercial a GRANEL. Se puede apreciar que el esfuerzo de compresión máximo de la muestra 3 está en 7MPa entre los 3mm y 4.5mm de extensión. Fuente propia. Fuente propia.

Tabla 29. Resultado de la prueba de fuerza de compresión, realizada en las 3 muestras del yeso comercial a GRANEL. Fuente propia.

	Deformación por compresión Máximo Carga de compresión (mm/mm)	Máximo Carga de compresión (N)	Carga de compresión Rotura (Estándar) (kgf)
1	0.17808	-5080.54018	445.39063
2	0.13983	-5112.76007	521.35645
3	0.13360	-5102.01991	520.26125

Muestra 1: $5080.54018 \text{ N} / 314 = 16.1800 \text{ MPa}$

Muestra 2: $5112.76007 \text{ N} / 314 = 16.2826 \text{ MPa}$

Muestra 3: $5102.01991 \text{ N} / 314 = 16.2484 \text{ MPa}$

Yeso reciclado de a GRANEL



Figura 26. Pruebas de fuerza de compresión de yeso reciclado de a GRANEL. En las imágenes 1a, 2a y 3a se aprecia el momento previo a iniciar la prueba de fuerza de compresión en las muestras, en las imágenes 1b, 2b y 3b se observa el momento final de la prueba y en las imágenes 1c, 2c y 3c se aprecia el resultado final después de levantar las platinas. Fuente propia.

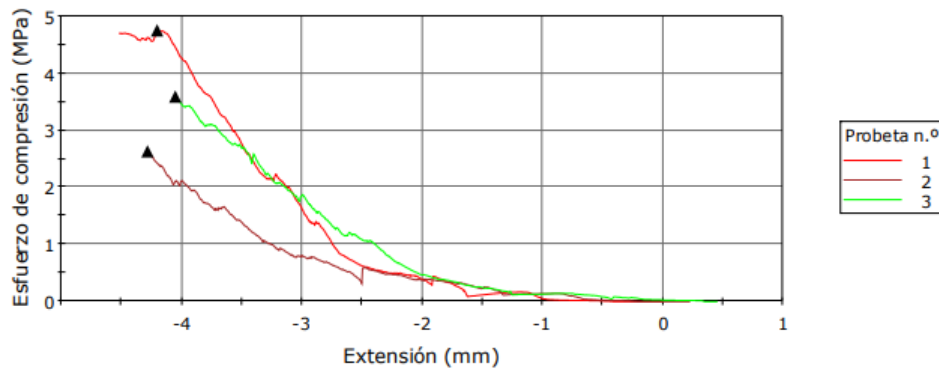


Gráfico 7. Yeso reciclado de a GRANEL. Se puede apreciar el comportamiento de la muestra 1 que tuvo un esfuerzo de compresión máximo de 4.7 MPa entre los 4mm y 4.5mm, para la muestra 2 su esfuerzo de compresión máximo fue de 2.6MPa entre los 4 y 4.5mm y para la muestra 3, su esfuerzo de compresión máximo fue de 3.5MPa entre los 4 y 4.5mm de extensión. Fuente propia.

Tabla 30. Resultado de la prueba de fuerza de compresión, realizada en las 3 muestras del yeso reciclado de GRANEL.
Fuente propia.

	Deformación por compresión Carga de compresión (mm/mm)	Máximo Carga de compresión (N)	Carga de compresión Rotura (Estándar) (kgf)
1	0.34997	-3355.70991	338.90166
2	0.37536	-1858.38997	189.50304
3	0.37510	-2535.58010	258.55721

Muestra 1: 3355.70991 N/314= 10.6869 MPa

Muestra 2: 1858.38997 N/314= 5.9184 MPa

Muestra 3: 2535.58010 N/314= 8.0750 MPa

Yeso comercial FERRETERIA

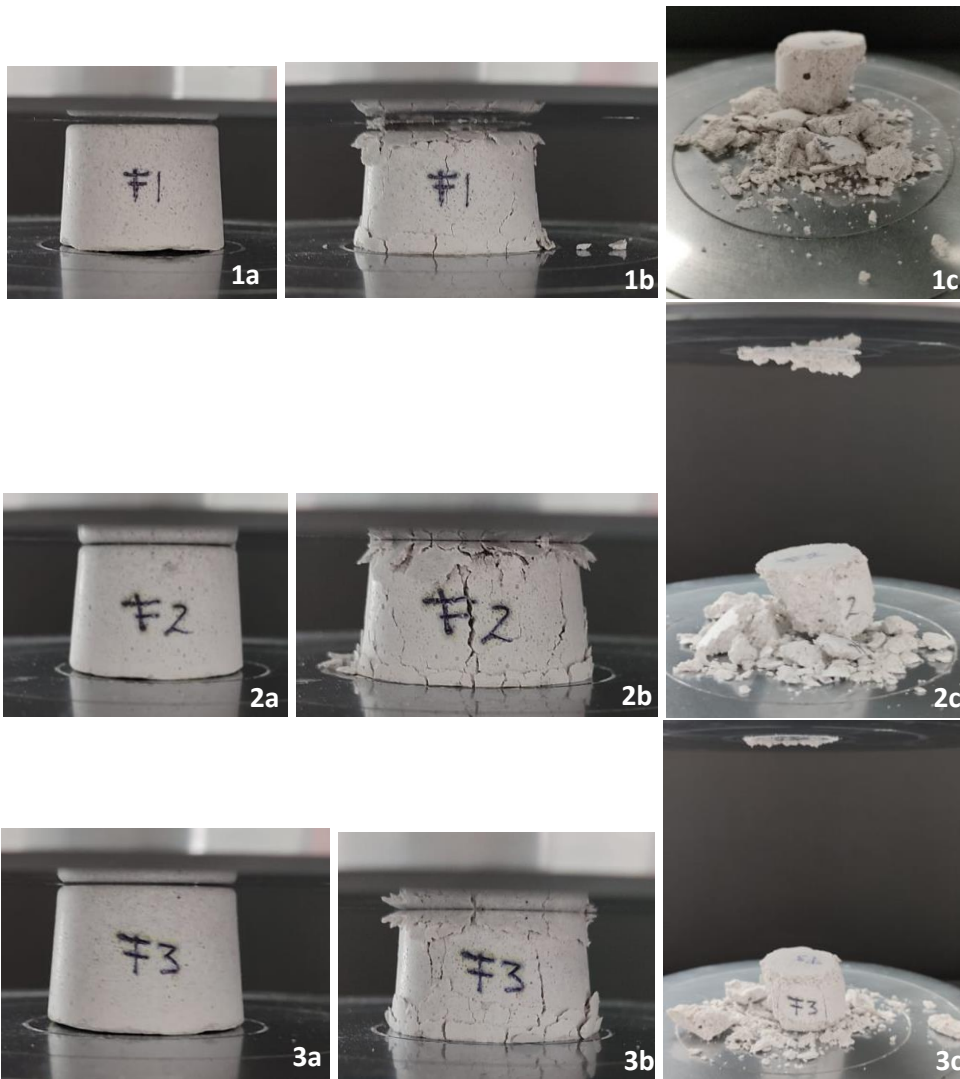


Figura 27. Pruebas de fuerza de compresión de yeso comercial FERRETERIA. En las imágenes 1a, 2a y 3a se aprecia el momento previo a iniciar la prueba de fuerza de compresión en las muestras, en las imágenes 1b, 2b y 3b se observa el momento final de la prueba y en las imágenes 1c, 2c y 3c se aprecia el resultado final después de levantar las platinas.
Fuente propia.

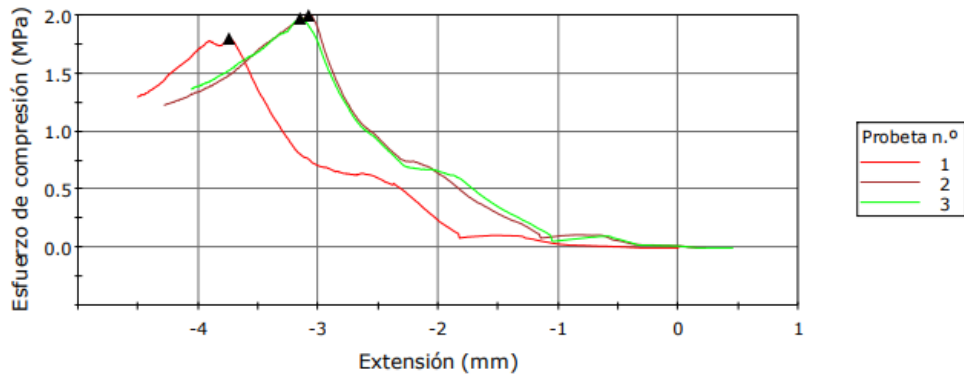


Gráfico 8. Yeso comercial FERRETERIA. Se puede apreciar el comportamiento de la muestra 2 y 3 fue muy similar, teniendo un esfuerzo de compresión máximo de 2MPa entre los 3mm y 3.5mm de extensión, para la muestra 1 su esfuerzo de compresión máximo fue de 1.7MPa aproximadamente entre los 3.5mm y 4mm de extensión. Fuente propia.

Tabla 31. Resultado de la prueba de fuerza de compresión, realizada en las 3 muestras del yeso comercial de FERRETERIA. Fuente propia.

	Deformación por compresión Máxima Carga de compresión (mm/mm)	Máximo Carga de compresión (N)	Carga de compresión Rotura (Estándar) (kgf)
1	0.16273	-1271.14996	93.34890
2	0.14375	-1410.74002	88.17486
3	0.15665	-1393.29001	98.41383

Muestra 1: $1271.14996 \text{ N}/314 = 4.0482 \text{ MPa}$

Muestra 2: $1410.74002 \text{ N}/314 = 4.4928 \text{ MPa}$

Muestra 3: $1393.29001 \text{ N}/314 = 4.4372 \text{ MPa}$

Yeso reciclado de FERRETERIA

En la figura 28 se muestra en que condición se encontraban las muestras al ser retiradas del recipiente plástico en el que se encontraban.



Figura 28. Fotografía tomada inmediatamente después de retirar el recipiente plástico. Fuente propia.



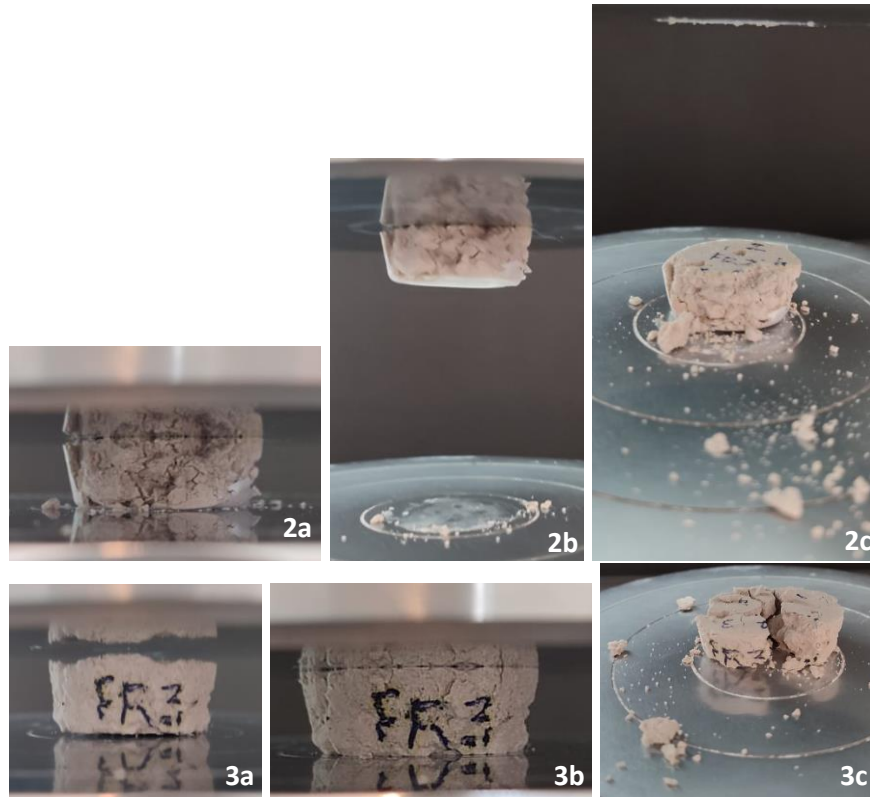


Figura 29. Pruebas de fuerza de compresión de yeso reciclado de FERRETERIA. En las imágenes 1a, 2a y 3a se aprecia el momento previo a iniciar la prueba de fuerza de compresión en las muestras, en las imágenes 1b, 2b y 3b se observa el momento final de la prueba y en las imágenes 1c, 2c y 3c se aprecia el resultado final después de levantar las platinas.
Fuente propia.

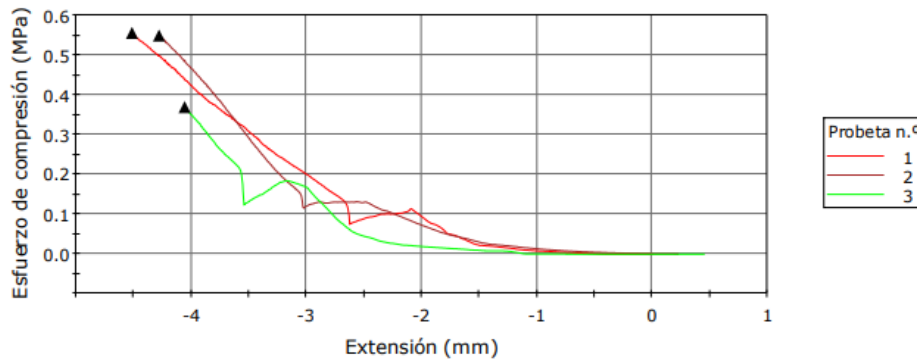


Gráfico 9. Yeso reciclado de FERRETERIA. Se puede apreciar que las 3 muestras tuvieron un esfuerzo de compresión máximo que va de 0.3-0.6MPa entre los 4mm y 4.5mm de extensión. Fuente propia.

Tabla 32. Resultado de la prueba de fuerza de compresión, realizada en las 3 muestras del yeso reciclado de FERRETERIA.
Fuente propia.

	Deformación por compresión Carga de compresión Máximo (mm/mm)	Máximo Carga de compresión (N)	Carga de compresión Rotura (Estándar) (kgf)
1	0.37579	-391.95001	39.96778
2	0.37510	-387.39000	39.50278
3	0.37552	-260.68000	26.58196

Muestra 1: 391.95001 N/314= 1.2482 MPa

Muestra 2: 387.39000 N/314= 1.2337 MPa

Muestra 3: 260.68000 N/314= 0.8301 MPa

10.5. Pureza química:

Se muestran los resultados del análisis químico elemental.

En las figuras se observarán los 3 barridos que se hicieron en cada yeso y en las tablas se muestran los elementos químicos que se encontraron.

Yeso comercial VALDI

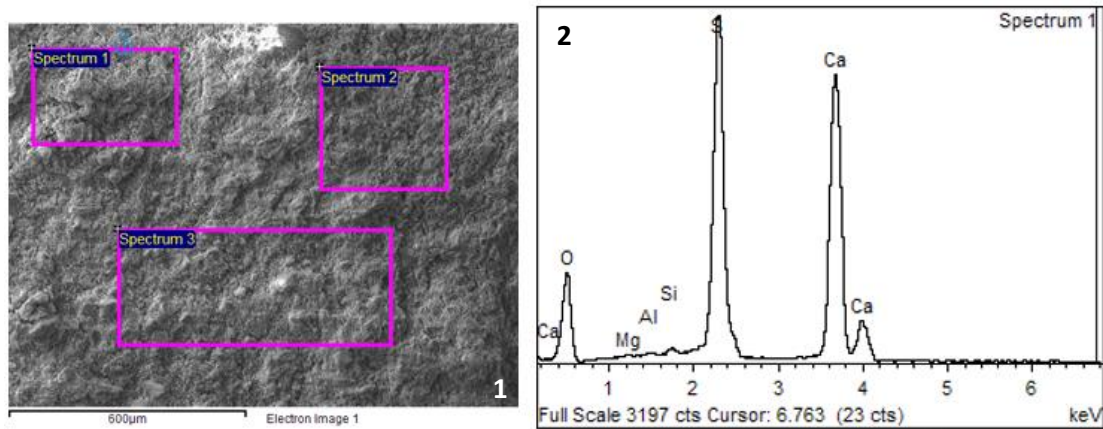


Figura 30. En la imagen 1 se puede observar los 3 barridos que se hicieron en la muestra del yeso comercial VALDI, en la imagen 2 se observa el comportamiento del barrido 1. Fuente propia.

Tabla 33. Resultado del análisis químico elemental, realizada en las 3 muestras del yeso comercial de VALDI. Fuente propia.

Spectrum	In stats.	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Total
Spectrum 1	Yes	50.07	0.18	0.14	0.33	21.78	27.50	100.00
Spectrum 2	Yes	50.33	0.12	0.16	0.27	21.78	27.34	100.00
Spectrum 3	Yes	51.49	0.10	0.13	0.24	21.47	26.57	100.00

Yeso reciclado de VALDI

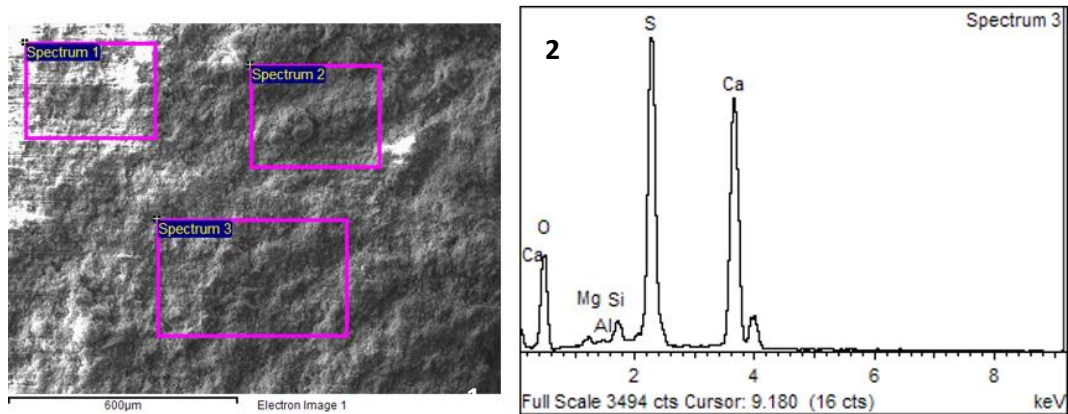


Figura 31. En la imagen 1 se puede observar los 3 barridos que se hicieron en la muestra del yeso reciclado de VALDI, en la imagen 2 se observa el comportamiento del barrido 3. Fuente propia.

Tabla 34. Resultado del análisis químico elemental, realizada en las 3 muestras del yeso reciclado de VALDI. Fuente propia.

Spectrum	In stats.	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Total
Spectrum 1	Yes	50.43	0.50	0.21	1.18	21.68	26.01	100.00
Spectrum 2	Yes	51.61	0.42	0.12	1.04	20.98	25.84	100.00
Spectrum 3	Yes	52.44	0.58	0.21	1.36	20.63	24.77	100.00

Yeso comercial MDC

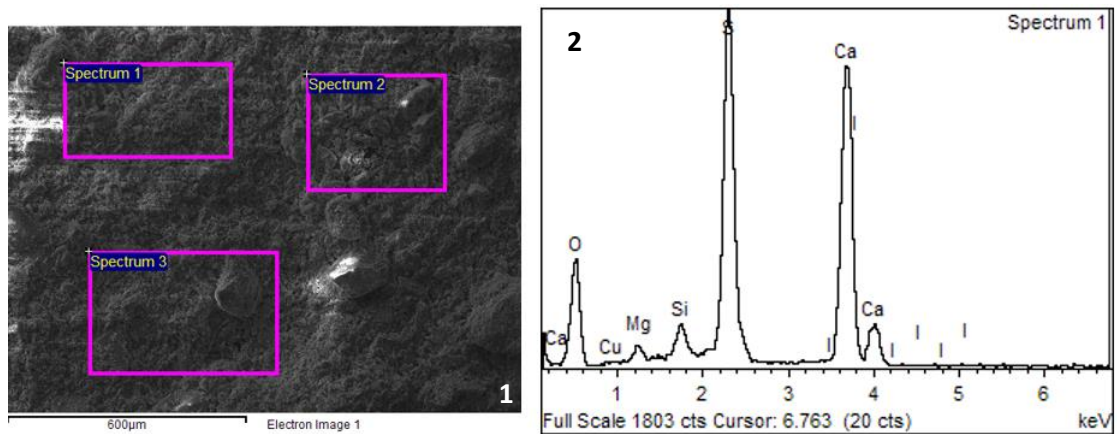


Figura 32. En la imagen 1 se puede observar los 3 barridos que se hicieron en la muestra del yeso comercial MDC, en la imagen 2 se observa el comportamiento del barrido 1. Fuente propia.

Tabla 35. Resultado del análisis químico elemental, realizada en las 3 muestras del yeso comercial de MDC. Fuente propia.

Spectrum	In stats.	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cu	Zn	I	Total
Spectrum 1	Yes	49.47	1.04	0.13	1.59	20.49	25.57	0.79	0.34	0.59	100.00
Spectrum 2	Yes	50.50	0.72	0.15	1.10	20.06	25.00	0.83	0.89	0.75	100.00
Spectrum 3	Yes	49.20	0.65	0.22	1.36	20.70	26.44	0.34	0.14	0.96	100.00

Yeso reciclado de MDC

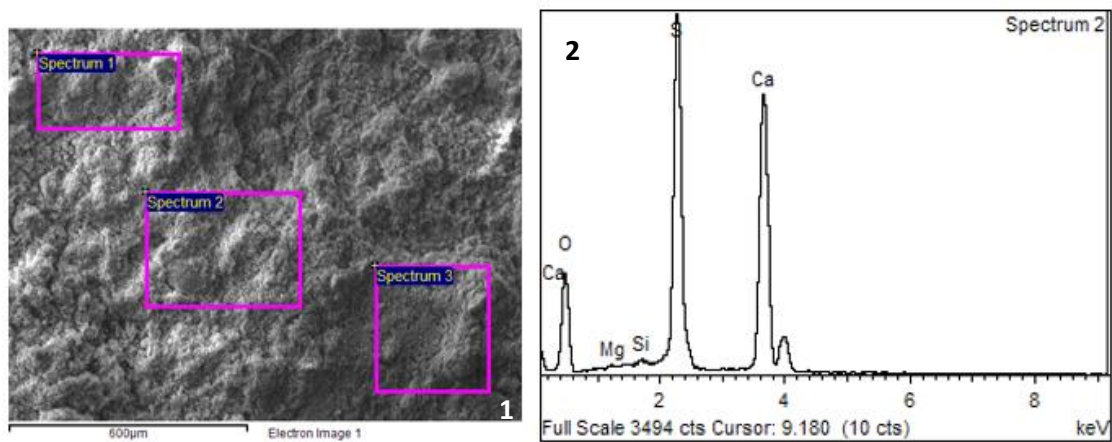


Figura 33. En la imagen 1 se puede observar los 3 barridos que se hicieron en la muestra del yeso reciclado de MDCI, en la imagen 2 se observa el comportamiento del barrido 2. Fuente propia.

Tabla 36. Resultado del análisis químico elemental, realizada en las 3 muestras del yeso reciclado de MDC. Fuente propia.

Spectrum	In stats.	O	Mg	Si	S	Ca	Total
Spectrum 1	Yes	51.65	0.10	0.35	21.77	26.13	100.00
Spectrum 2	Yes	52.16	0.17	0.31	21.75	25.61	100.00
Spectrum 3	Yes	51.48	0.09	0.50	21.79	26.15	100.00

Yeso comercial a GRANEL

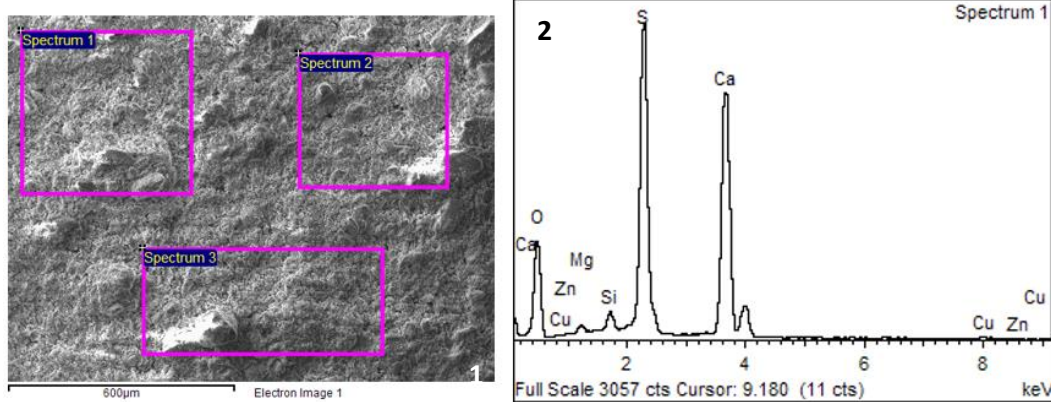


Figura 34. En la imagen 1 se puede observar los 3 barridos que se hicieron en la muestra del yeso comercial a GRANEL, en la imagen 2 se observa el comportamiento del barrido 1. Fuente propia.

Tabla 37. Resultado del análisis químico elemental, realizada en las 3 muestras del yeso comercial de a GRANEL. Fuente propia.

Spectrum	In stats.	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cu	Zn	I	Total
Spectrum 1	Yes	51.24	0.54	0.11	1.07	20.47	24.47	0.80	0.65	0.66	100.00
Spectrum 2	Yes	51.04	0.79	0.16	1.39	20.24	24.21	0.86	0.24	1.06	100.00
Spectrum 3	Yes	51.56	1.23	0.35	2.17	19.39	23.27	0.93	0.52	0.58	100.00

Yeso reciclado de a GRANEL

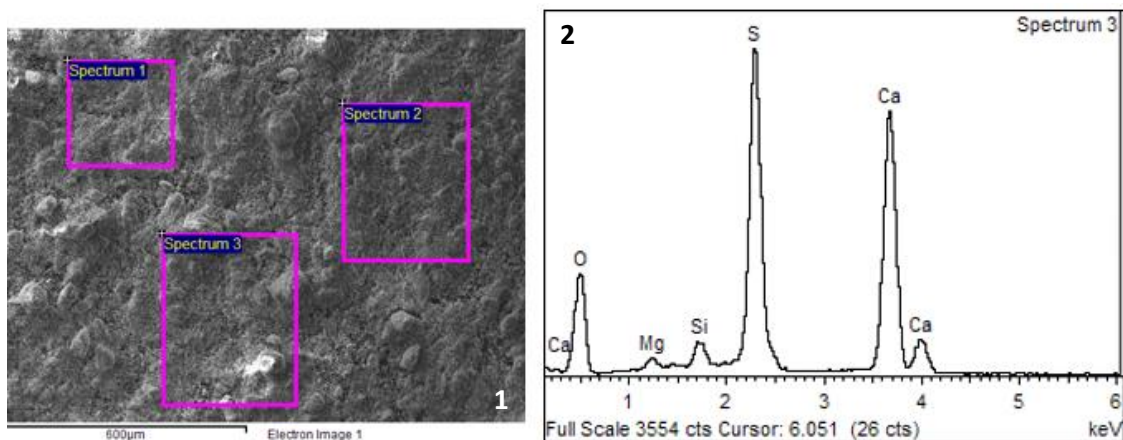


Figura 35. En la imagen 1 se puede observar los 3 barridos que se hicieron en la muestra del yeso reciclado de a GRANEL, en la imagen 2 se observa el comportamiento del barrido 3. Fuente propia.

Tabla 38. Resultado del análisis químico elemental, realizada en las 3 muestras del yeso reciclado de GRANEL. Fuente propia.

Spectrum	In stats.	O	Mg	Si	S	Ca	Total
Spectrum 1	Yes	52.81	0.85	1.54	20.29	24.51	100.00
Spectrum 2	Yes	52.26	0.83	1.63	20.32	24.97	100.00
Spectrum 3	Yes	53.12	0.69	1.47	20.11	24.61	100.00

Yeso comercial FERRETERIA

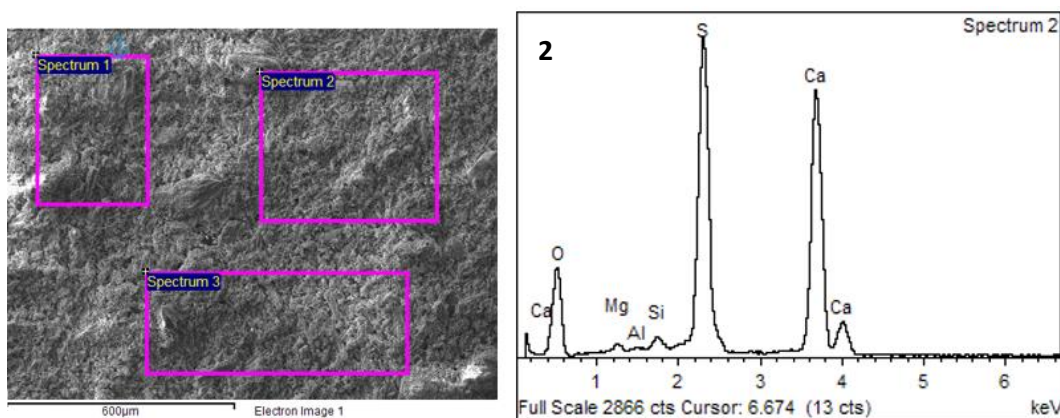


Figura 36. En la imagen 1 se puede observar los 3 barridos que se hicieron en la muestra del yeso comercial FERRETERIA, en la imagen 2 se observa el comportamiento del barrido 2. Fuente propia.

Tabla 39. Resultado del análisis químico elemental, realizada en las 3 muestras del yeso comercial de FERRETERIA. Fuente propia.

Spectrum	In stats.	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Total
Spectrum 1	Yes	50.46	0.98	0.13	1.43	20.97	26.02	100.00
Spectrum 2	Yes	50.93	0.63	0.25	0.74	21.15	26.31	100.00
Spectrum 3	Yes	51.02	0.17	0.08	0.36	21.69	26.68	100.00

Yeso reciclado de FERRETERIA

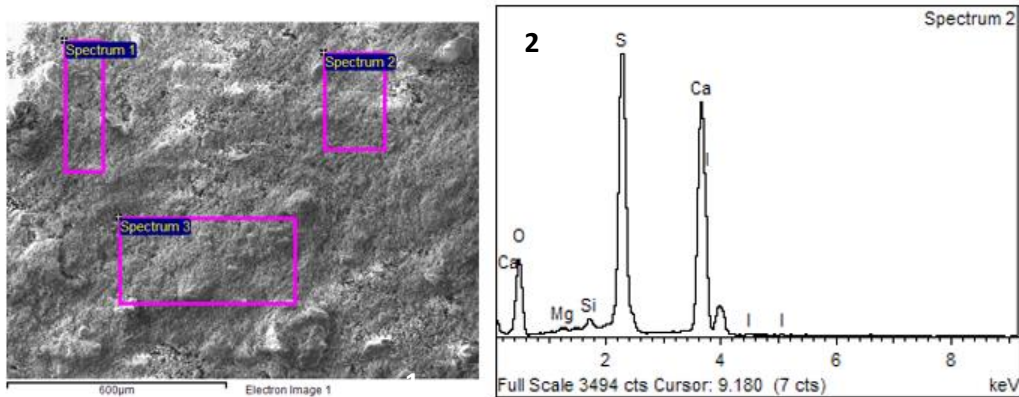


Figura 37. En la imagen 1 se puede observar los 3 barridos que se hicieron en la muestra del yeso reciclado de FERRETERIA, en la imagen 2 se observa el comportamiento del barrido 2. Fuente propia.

Tabla 40. Resultado del análisis químico elemental, realizada en las 3 muestras del yeso reciclado de FERRETERIA. Fuente propia.

Spectrum	In stats.	O	Mg	Si	S	Ca	I	Total
Spectrum 1	Yes	51.02	0.36	0.80	21.39	25.75	0.68	100.00
Spectrum 2	Yes	49.41	0.32	0.76	21.80	26.54	1.17	100.00
Spectrum 3	Yes	51.59	0.41	0.88	21.16	25.44	0.51	100.00

10.6. Cristalinidad:

Sé identifico la cristalinidad en cada yeso y se hizo un acercamiento a 1000 y 2000, con 10 µm de distancia.

Para todos los yesos, a 10µm con un acercamiento de 2000 se observaron unos cristales irregulares y porosos, que corresponderían a cristales β , propios del yeso tipo II.

Yeso comercial VALDI

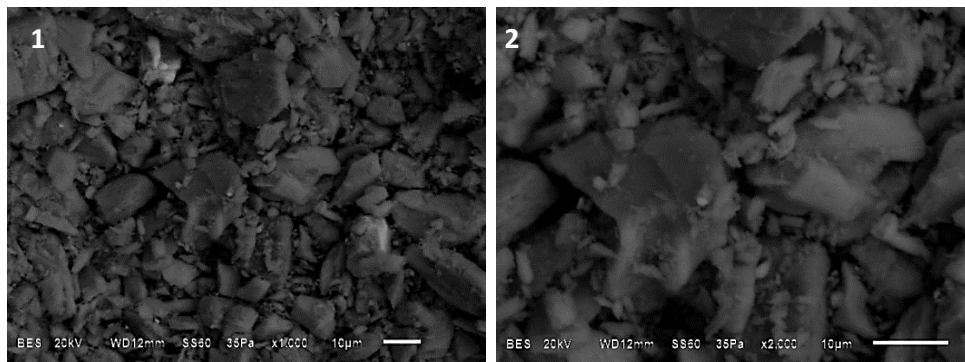


Figura 38. Prueba de cristalinidad con el microscopio electrónico de barrido para el yeso comercial VALDI. En la imagen 1 se aprecia a 10µm x1000 y en la imagen 2 se aprecia a 10µm x2000. Fuente propia.

Yeso reciclado de VALDI

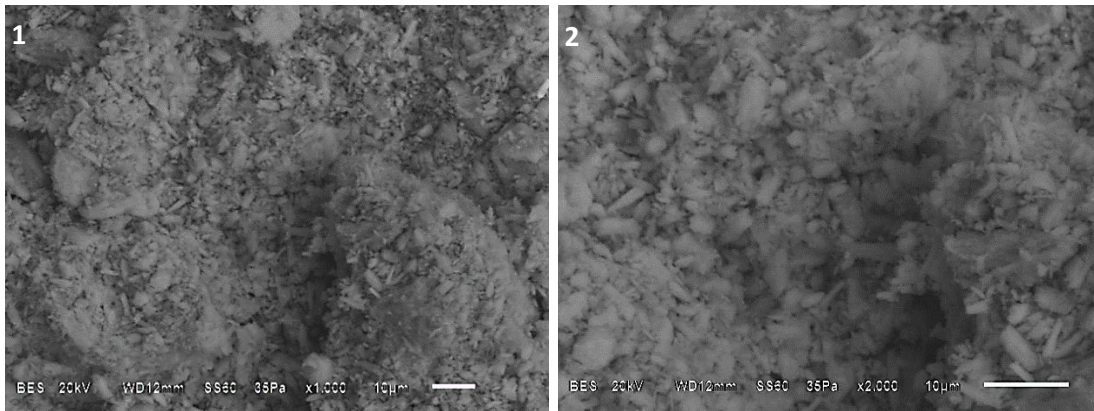


Figura 39. Prueba de cristalinidad con el microscopio electrónico de barrido para el yeso reciclado de VALDI. En la imagen 1 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 1000$ y en la imagen 2 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 2000$. Fuente propia.

Yeso comercial MDC

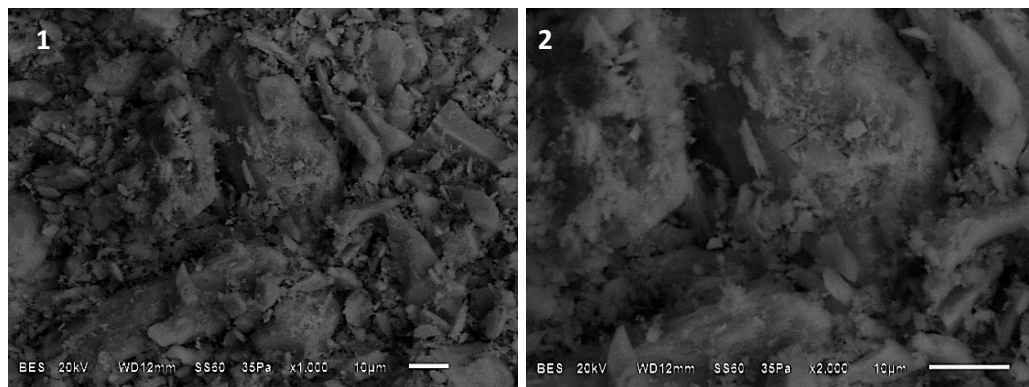


Figura 40. Prueba de cristalinidad con el microscopio electrónico de barrido para el yeso comercial MDC. En la imagen 1 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 1000$ y en la imagen 2 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 2000$. Fuente propia

Yeso reciclado de MDC

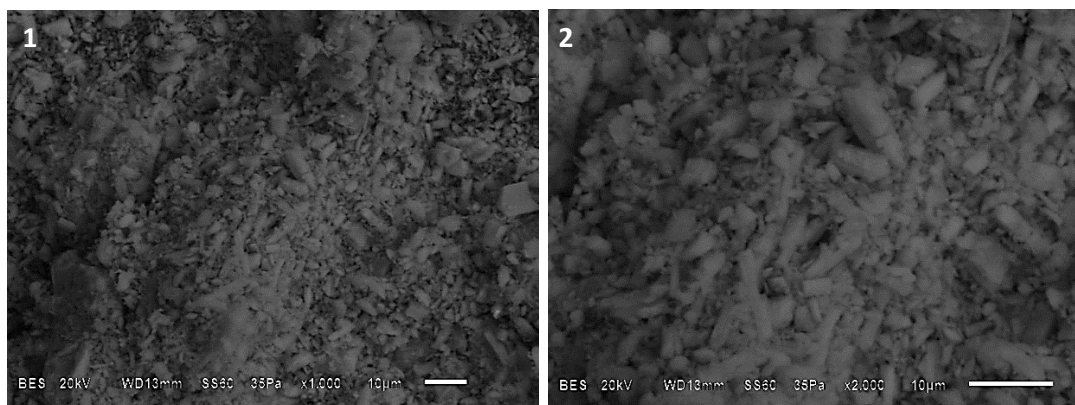


Figura 41. Prueba de cristalinidad con el microscopio electrónico de barrido para el yeso reciclado de MDC. En la imagen 1 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 1000$ y en la imagen 2 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 2000$. Fuente propia.

Yeso comercial GRANEL

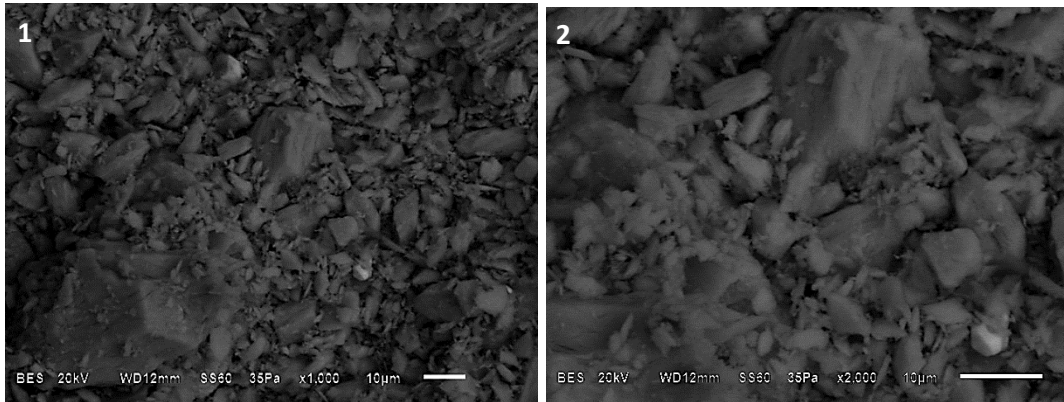


Figura 42. Prueba de cristalinidad con el microscopio electrónico de barrido para el yeso comercial a GRANEL. En la imagen 1 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 1000$ y en la imagen 2 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 2000$. Fuente propia.

Yeso reciclado de GRANEL

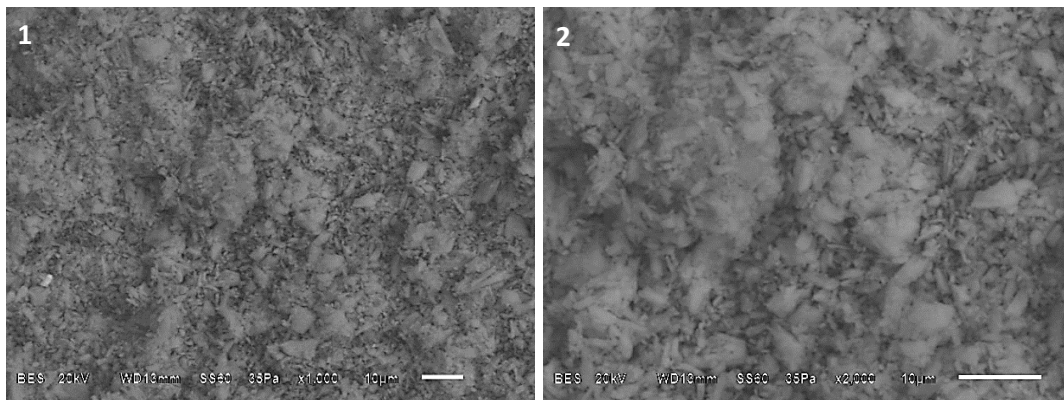


Figura 43. Prueba de cristalinidad con el microscopio electrónico de barrido para el yeso reciclado de a GRANEL. En la imagen 1 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 1000$ y en la imagen 5 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 2000$. Fuente propia.

Yeso comercial FERRETERIA.

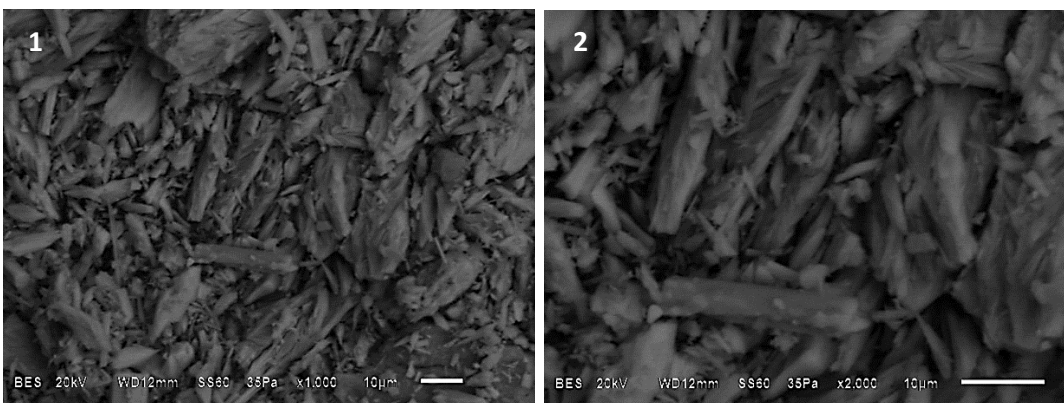


Figura 44. Prueba de cristalinidad con el microscopio electrónico de barrido para el yeso comercial FERRETERIA. En la imagen 1 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 1000$ y en la imagen 2 se aprecia a $10\mu\text{m}$ $\times 2000$. Fuente propia.

Yeso reciclado de FERRETERIA

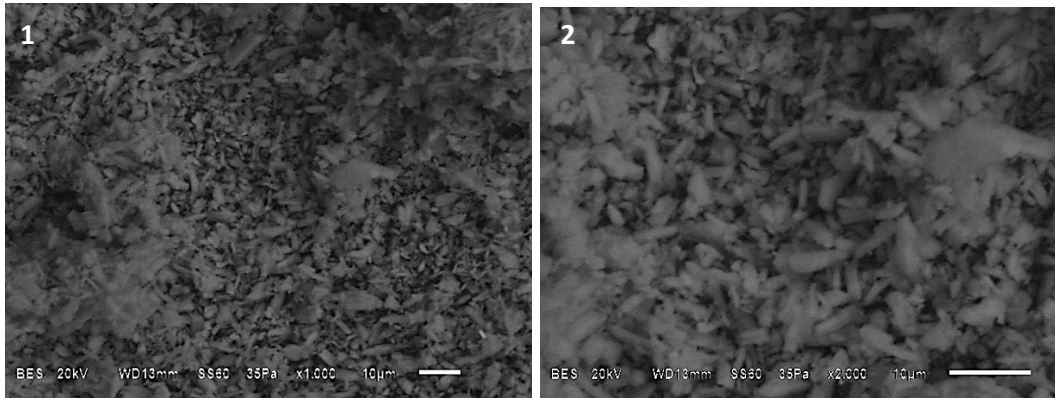


Figura 45. Prueba de cristalinidad con el microscopio electrónico de barrido para el yeso reciclado de FERRETERIA. En la imagen 1 se aprecia a $10\mu\text{m}$ x1000 y en la imagen 2 se aprecia a $10\mu\text{m}$ x2000. Fuente propia.

Por último, en el anexo 3 se puede observar el costo energético de la producción de Yeso Reciclado, que fue realizado por el experto en el área, es muy importante aclarar que el yeso comercial se produce por toneladas y lo realizado por nosotros fueron volúmenes pequeños, se podría bajar el costo a la mitad produciendo hasta 2 kilos por ronda, inicialmente.

11.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Variables Cualitativas, Nominales

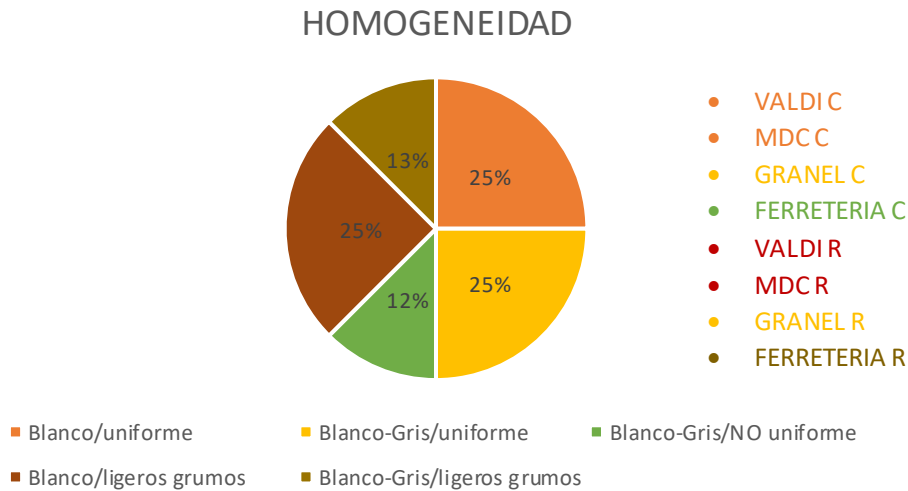


Figura 46. Gráfico de sectores para la variable homogeneidad de los yesos comerciales y reciclados. Fuente propia.

Podemos observar como VALDI y MDC comercial eran blancos y uniformes, GRANEL comercial y GRANEL reciclado tenían el mismo aspecto, VALDI y MDC reciclados presentaron diferencia comparados con el comercial, pero en el reciclado son parecidos, FERRETERIA comercial es el único que no era uniforme y en el reciclado cambio.

Presencia de cristales

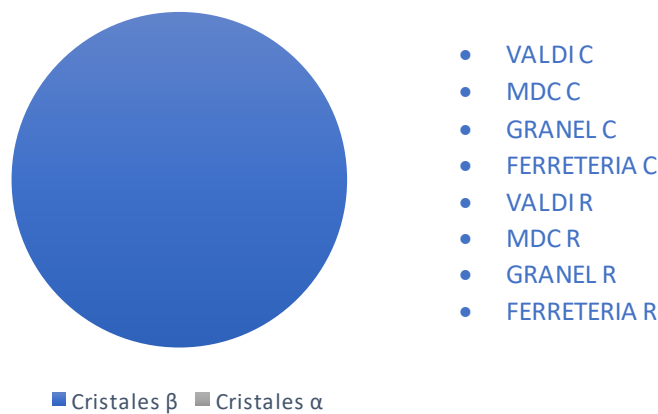


Figura 47. Gráfico de sectores para la variable presencia de cristales de los yesos comerciales y reciclados. Fuente propia.

Podemos observar como todos los yesos presentaron cristales β.

VARIABLES DIMENSIONALES

Tiempo de Fraguado

Yeso VALDI comercial

Tabla 41. Estadística descriptiva sobre el tiempo de fraguado para el yeso VALDI comercial. Fuente propia

		Estadístico	Desv. Error	
VALDI_C_T_Fraguado	Media	8.1500	.37126	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	7.1956	
		Límite superior	9.1044	
	Media recortada al 5%	8.1500		
	Mediana	8.1500		
	Varianza	.827		
	Desv. Desviación	.90940		
	Mínimo	7.00		
	Máximo	9.30		
	Rango	2.30		
	Rango intercuartil	1.85		
	Asimetría	.000	.845	
	Curtosis	-1.600	1.741	

Con una confianza del 95% la proporción del tiempo de fraguado del yeso comercial VALDI está entre 7.1 y 9.1 minutos, con una media de 8.1 minutos y una desviación estándar de .90.

Su asimetría es .0 por lo que nos indica una distribución simétrica.

La Curtosis es de -1.6, indicando que es platicúrtica.

Yeso VALDI reciclado

Tabla 42. Estadística descriptiva sobre el tiempo de fraguado para el yeso VALDI reciclado. Fuente propia.

VALDI_R_T_Fraguado	Media	2.1500	.35237	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.0286	
		Límite superior	3.2714	
	Media recortada al 5%	2.1500		
	Mediana	2.1500		
	Varianza	.497		
	Desv. Desviación	.70475		
	Mínimo	1.30		
	Máximo	3.00		
	Rango	1.70		
	Rango intercuartil	1.35		
	Asimetría	.000	1.014	
	Curtosis	.621	2.619	

Con una confianza del 95% la proporción del tiempo de fraguado del yeso reciclado de VALDI está entre 1.0 y 3.2 minutos, con una media de 2.1 minutos y una desviación estándar de .70.

Su asimetría es .0 por lo que nos indica una distribución simétrica
La Curtosis es de .62, indicando que es leptocúrtica.

Yeso MDC comercial

Tabla 43. Estadística descriptiva sobre el tiempo de fraguado para el yeso MDC comercial. Fuente propia.

		Estadístico	Desv. Error	
MDC_C_T_Fraguado	Media	9.1500	.37126	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8.1956	
		Límite superior	10.1044	
	Media recortada al 5%	9.1500		
	Mediana	9.1500		
	Varianza	.827		
	Desv. Desviación	.90940		
	Mínimo	8.00		
	Máximo	10.30		
	Rango	2.30		
	Rango intercuartil	1.85		
	Asimetría	.000	.845	
	Curtosis	-1.600	1.741	

Con una confianza del 95% la proporción del tiempo de fraguado del yeso comercial MDC está entre 8.1 y 10.1 minutos, con una media de 9.1 minutos y una desviación estándar de .90.

Su asimetría es .0 por lo que nos indica una distribución simétrica.
La Curtosis es de -1.6, indicando que es platicúrtica.

Yeso MDC reciclado

Tabla 44. Estadística descriptiva sobre el tiempo de fraguado para el yeso MDC reciclado. Fuente propia.

		Estadístico	Desv. Error	
MDC_R_T_Fraguado	Media	3.1500	.35237	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2.0286	
		Límite superior	4.2714	
	Media recortada al 5%	3.1500		
	Mediana	3.1500		
	Varianza	.497		
	Desv. Desviación	.70475		
	Mínimo	2.30		
	Máximo	4.00		
	Rango	1.70		
	Rango intercuartil	1.35		
	Asimetría	.000	1.014	
	Curtosis	.621	2.619	

Con una confianza del 95% la proporción del tiempo de fraguado del yeso reciclado de MDC está entre 2.0 y 4.2 minutos, con una media de 3.1 minutos y una desviación estándar de .70.

Su asimetría es .0 por lo que nos indica una distribución simétrica
La Curtosis es de .62, indicando que es leptocúrtica.

Yeso GRANEL comercial

Tabla 45. Estadística descriptiva sobre el tiempo de fraguado para el yeso a GRANEL comercial. Fuente propia

		Estadístico	Desv. Error	
GRANEL_C_T_Fraguado	Media	4.1500	.37126	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3.1956	
		Límite superior	5.1044	
	Media recortada al 5%	4.1500		
	Mediana	4.1500		
	Varianza	.827		
	Desv. Desviación	.90940		
	Mínimo	3.00		
	Máximo	5.30		
	Rango	2.30		
	Rango intercuartil	1.85		
	Asimetría	.000	.845	
	Curtosis	-1.600	1.741	

Con una confianza del 95% la proporción del tiempo de fraguado del yeso comercial a GRANEL está entre 3.1 y 5.1 minutos con una media de 4.1 minutos y una desviación estándar de .90.

Su asimetría es .0 por lo que nos indica una distribución simétrica.
La Curtosis es de -1.6, indicando que es platicúrtica.

Yeso a GRANEL reciclado

Tabla 46. Estadística descriptiva sobre el tiempo de fraguado para el yeso a GRANEL reciclado. Fuente propia.

		Estadístico	Desv. Error	
GRANEL_R_T_Fraguado	Media	7.1500	.35237	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6.0286	
		Límite superior	8.2714	
	Media recortada al 5%	7.1500		
	Mediana	7.1500		
	Varianza	.497		
	Desv. Desviación	.70475		
	Mínimo	6.30		
	Máximo	8.00		
	Rango	1.70		
	Rango intercuartil	1.35		
	Asimetría	.000	1.014	
	Curtosis	.621	2.619	

Con una confianza del 95% la proporción del tiempo de fraguado del yeso reciclado de a GRANEL está entre 6.0 y 8.2 minutos, con una media de 7.1 minutos y una desviación estándar de .70.

Su asimetría es .0 por lo que nos indica una distribución simétrica
La Curtosis es de .62, indicando que es leptocúrtica.

Yeso FERRETERIA comercial

Tabla 47. Estadística descriptiva sobre el tiempo de fraguado para el yeso FERRETERIA comercial. Fuente propia.

		Estadístico	Desv. Error	
FERRE_C_T_Fraguado	Media	8.1500	.37126	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	7.1956	
		Límite superior	9.1044	
	Media recortada al 5%	8.1500		
	Mediana	8.1500		
	Varianza	.827		
	Desv. Desviación	.90940		
	Mínimo	7.00		
	Máximo	9.30		
	Rango	2.30		
	Rango intercuartil	1.85		
	Asimetría	.000	.845	
	Curtosis	-1.600	1.741	

Con una confianza del 95% la proporción del tiempo de fraguado del yeso comercial a GRANEL está entre 7.1 y 9.1 minutos, con una media de 8.1 minutos y una desviación estándar de .90.

Su asimetría es .0 por lo que nos indica una distribución simétrica.
La Curtosis es de -1.6, indicando que es platicúrtica.

Yeso FERRETERIA reciclado

Tabla 48. Estadística descriptiva sobre el tiempo de fraguado para el yeso FERRETERIA reciclado. Fuente propia.

		Estadístico	Desv. Error	
FERRE_R_T_Fraguado	Media	5.6500	.30139	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4.6909	
		Límite superior	6.6091	
	Media recortada al 5%	5.6500		
	Mediana	5.6500		
	Varianza	.363		
	Desv. Desviación	.60277		
	Mínimo	5.00		
	Máximo	6.30		
	Rango	1.30		
	Rango intercuartil	1.15		
	Asimetría	.000	1.014	
	Curtosis	-3.727	2.619	

Con una confianza del 95% la proporción del tiempo de fraguado del yeso reciclado de FERRETERIA está entre 4.6 y 6.6 minutos, con una media de 5.6 y una desviación estándar de .60.

Su asimetría es .0 por lo que nos indica una distribución simétrica

La Curtosis es de -3.7, indicando que es platicúrtica.

Prueba T de Student para tiempo de fraguado

Yeso VALDI comercial y reciclado

Tabla 49. Estadística de grupo sobre el tiempo de fraguado para el yeso VALDI comercial y reciclado, donde 1 es para yeso comercial y 2 para yeso reciclado. Fuente propia.

	Yeso_VALDI	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
T_Fraguado	1.00	6	8.1500	.90940	.37126
	2.00	4	2.1500	.70475	.35237

Figura 50. Prueba T student para el tiempo de fraguado del yeso VALDI comercial y reciclado. Fuente propia

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
T_Fraguado	Se asumen varianzas iguales	.584	.467	11.085	8	.000	6.00000	.54127	4.75184	7.24816
	No se asumen varianzas iguales			11.722	7.679	.000	6.00000	.51186	4.81102	7.18898

El valor P de la prueba se encuentra en .0, es menor a 0.05, por lo tanto, hay una diferencia significativa en la media del tiempo de fraguado entre el yeso VALDI comercial y reciclado.

Yeso MDC comercial y reciclado

Tabla 51. Estadística de grupo sobre el tiempo de fraguado para el yeso MDC comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_MDC	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
T_Fraguado_MDC	Yeso comercial	6	9.1500	.90940	.37126
	Yeso reciclado	4	3.1500	.70475	.35237

Tabla 52. Prueba T student para el tiempo de fraguado del yeso MDC comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
T_Fraguado_MDC	Se asumen varianzas iguales	.584	.467	11.085	8	.000	6.00000	.54127	4.75184	7.24816
	No se asumen varianzas iguales			11.722	7.679	.000	6.00000	.51186	4.81102	7.18898

El valor P de la prueba se encuentra en .0, es menor a 0.05, por lo tanto, hay una diferencia significativa en la media del tiempo de fraguado entre el yeso MDC comercial y reciclado.

Yeso GRANEL comercial y reciclado

Tabla 53. Estadística de grupo sobre el tiempo de fraguado para el yeso a GRANEL comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_GRANEL	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
T_Fraguado_GRANEL	Comercial	6	4.1500	.90940	.37126
	Reciclado	4	7.1500	.70475	.35237

Tabla 54. Prueba T student para el tiempo de fraguado del yeso a GRANEL comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
T_Fraguado_GRANEL	Se asumen varianzas iguales	.584	.467	-5.543	8	.001	-3.00000	.54127	-4.24816	-1.75184
	No se asumen varianzas iguales			-5.861	7.679	.000	-3.00000	.51186	-4.18898	-1.81102

El valor P de la prueba se encuentra en .0, es menor a 0.05, por lo tanto, hay una diferencia significativa en la media del tiempo de fraguado entre el yeso a GRANEL comercial y reciclado.

Yeso FERRETERIA comercial y reciclado

Tabla 55. Estadística de grupo sobre el tiempo de fraguado para el yeso FERRETERIA comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_FERRE	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
T_Fraguado_FERRE	Comercial	6	8.1500	.90940	.37126
	Reciclado	4	5.6500	.60277	.30139

Tabla 56. Prueba T student para el tiempo de fraguado del yeso FERRETERIA comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
T_Fraguado_FERRE	Se asumen varianzas iguales	.788	.401	4.792	8	.001	2.50000	.52167	1.29704	3.70296
	No se asumen varianzas iguales			5.228	7.983	.001	2.50000	.47819	1.39688	3.60312

El valor P de la prueba se encuentra en .001, es menor a 0.05, por lo tanto, hay una diferencia significativa en la media del tiempo de fraguado entre el yeso FERRETERIA comercial y reciclado.

Expansión de ajuste lineal

Al tener medidas iguales o casi iguales, se decidió hacer únicamente la prueba T Student para determinar si existen diferencias significativas entre la expansión de ajuste lineal final entre yeso comercial y reciclado.

Yeso VALDI comercial y reciclado

Tabla 57. Estadística de grupo sobre la expansión de ajuste lineal final para el yeso VALDI comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_VALDI	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Yeso_VALDI_E_Final	comercial	3	22.0000	.00000 ^a	.00000
	reciclado	3	11.2000	.00000 ^a	.00000

Tenemos una N muestral de 3 para ambos yesos, la media para el yeso comercial es de 22 mm y para el reciclado es de 11.2 mm, no se realiza prueba t porque las desviaciones estándar de ambos grupos son de 0, entonces no hay una diferencia significativa.

Yeso MDC comercial y reciclado

Tabla 58. Estadística de grupo sobre la expansión de ajuste lineal final para el yeso MDC comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_MDC	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Yeso_MDC_E_Final	comercial	3	22.0000	.00000	.00000
	reciclado	3	11.4333	.57735	.33333

Tenemos una N muestral de 3 para ambos yesos, la media para el yeso comercial es de 22 mm y para el reciclado es de 11.4 mm.

Tabla 59. Prueba T student para la expansión de ajuste lineal del yeso MDC comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Yeso_MDC_E_Final	Se asumen varianzas iguales	16.000	.016	31.700	4	.000	10.56667	.33333	9.64118	11.49215
	No se asumen varianzas iguales			31.700	2.000	.001	10.56667	.33333	9.13245	12.00088

El valor P de la prueba se encuentra en .00, es menor a 0.05, por lo tanto, hay una diferencia significativa en la expansión de ajuste lineal final entre yeso MDC comercial y reciclado.

Yeso a GRANEL comercial y reciclado

Tabla 60. Estadística de grupo sobre la expansión de ajuste lineal final para el yeso a GRANEL comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_GRANEL	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Yeso_GRANEL_E_Final	comercial	3	24.0000	.00000 ^a	.00000
	reciclado	3	11.1000	.00000 ^a	.00000

Tenemos una N muestral de 3 para ambos yesos, la media para el yeso comercial es de 24 mm y para el reciclado es de 11.1 mm, no se realiza prueba t porque las desviaciones estándar de ambos grupos son de 0, entonces no hay una diferencia significativa.

Yeso FERRETERIA comercial y reciclado

Tabla 61. Estadística de grupo sobre la expansión de ajuste lineal final para el yeso FERRETERIA comercial y reciclado. Fuente propia.

Yeso_FERRE	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Yeso_FERRE_E_Final comercial	3	23.0000	.00000 ^a	.00000
reciclado	3	13.0000	.00000 ^a	.00000

Tenemos una N muestral de 3 para ambos yesos, la media para el yeso comercial es de 23 mm y para el reciclado es de 13 mm, no se realiza prueba t porque las desviaciones estándar de ambos grupos son de 0, entonces no hay una diferencia significativa.

Fuerza de compresión

Yeso VALDI comercial

Tabla 62. Estadística descriptiva sobre la fuerza de compresión del yeso VALDI comercial. Fuente propia

		Estadístico	Desv. Error	
VALDI_C_T_Fractura	Media	15.9767	.17052	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	15.2430	
		Límite superior	16.7104	
	Media recortada al 5%	.		
	Mediana	15.9600		
	Varianza	.087		
	Desv. Desviación	.29535		
	Mínimo	15.69		
	Máximo	16.28		
	Rango	.59		
	Rango intercuartil	.		
	Asimetría	.253	1.225	

Con una confianza del 95% la proporción del valor de la tensión de la fractura del yeso comercial VALDI está entre 15.2 y 16.7 MPa, con una media de 15.9 MPa y una desviación estándar de .29.

Su asimetría es .253 por lo que nos indica una distribución sesgada a la derecha.

Yeso VALDI reciclado

Tabla 63. Estadística descriptiva sobre la fuerza de compresión del yeso VALDI reciclado. Fuente propia.

VALDI_R_T_Fractura	Media		.4067	.13532
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-.1756	
		Límite superior	.9889	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		.5000	
	Varianza		.055	
	Desv. Desviación		.23438	
	Mínimo		.14	
	Máximo		.58	
	Rango		.44	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1.508	1.225

Con una confianza del 95% la proporción del valor de la tensión de la fractura del yeso reciclado VALDI está entre $-.1756$ y $.9889$ MPa, con una media de $.40$ MPa y una desviación estándar de $.23$.

Su asimetría es -1.508 por lo que al ser negativa nos indica una distribución sesgada a la izquierda.

Yeso MDC comercial

Tabla 64. Estadística descriptiva sobre la fuerza de compresión del yeso MDC comercial. Fuente propia.

MDC_C_T_Fractura	Media		15.9167	.17704
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	15.1549	
		Límite superior	16.6784	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		15.8200	
	Varianza		.094	
	Desv. Desviación		.30665	
	Mínimo		15.67	
	Máximo		16.26	
	Rango		.59	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1.278	1.225

Con una confianza del 95% la proporción del valor de la tensión de la fractura del yeso comercial MDC está entre 15.1 y 16.6 MPa, con una media de 15.9 MPa y una desviación estándar de $.30$.

Su asimetría es 1.278 por lo que nos indica una distribución sesgada a la derecha.

Yeso MDC reciclado

Tabla 65. Estadística descriptiva sobre la fuerza de compresión del yeso MDC reciclado. Fuente propia.

MDC_R_T_Fractura	Media		4.7500	1.15884
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-.2361	
		Límite superior	9.7361	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		4.0200	
	Varianza		4.029	
	Desv. Desviación		2.00716	
	Mínimo		3.21	
	Máximo		7.02	
	Rango		3.81	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1.420	1.225

Con una confianza del 95% la proporción del valor de la tensión de la fractura del yeso reciclado MDC está entre $-.2361$ y 9.7361 MPa, con una media de 4.7 MPa y una desviación estándar de 2.0 .

Su asimetría es 1.420 por lo que nos indica una distribución sesgada a la derecha.

Yeso a GRANEL comercial

Tabla 66, Estadística descriptiva sobre la fuerza de compresión del yeso a GRANEL comercial. Fuente propia.

GRANEL_C_T_Fraactura	Media		16.2333	.02906
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	16.1083	
		Límite superior	16.3584	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		16.2400	
	Varianza		.003	
	Desv. Desviación		.05033	
	Mínimo		16.18	
	Máximo		16.28	
	Rango		.10	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-.586	1.225

Con una confianza del 95% la proporción del valor de la tensión de la fractura del yeso comercial a GRANEL está entre 16.1 y 16.3 MPa, con una media de 16.2 MPa y una desviación estándar de $.05$.

Su asimetría es $-.586$ por lo que al ser negativa nos indica una distribución sesgada a la izquierda.

Yeso a GRANEL reciclado

Tabla 67. Estadística descriptiva sobre la fuerza de compresión del yeso a GRANEL reciclado. Fuente propia

GRANEL_R_Fractura	Media		8.2200	1.37902
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2.2865	
		Límite superior	14.1535	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		8.0700	
	Varianza		5.705	
	Desv. Desviación		2.38854	
	Mínimo		5.91	
	Máximo		10.68	
	Rango		4.77	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		.281	1.225

Con una confianza del 95% la proporción del valor de la tensión de la fractura del yeso reciclado a GRANEL está entre 2.2865 y 14.1535 MPa, con una media de 8.2 MPa y una desviación estándar de 2.3.

Su asimetría es .281 por lo que nos indica una distribución sesgada a la derecha.

Yeso FERRETERIA comercial

Tabla 68. Estadística descriptiva sobre la fuerza de compresión del yeso FERRETERIA comercial. Fuente propia.

FERRE_C_T_Fractura	Media		4.3200	.14107
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3.7130	
		Límite superior	4.9270	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		4.4300	
	Varianza		.060	
	Desv. Desviación		.24434	
	Mínimo		4.04	
	Máximo		4.49	
	Rango		.45	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1.615	1.225

Con una confianza del 95% la proporción del valor de la tensión de la fractura del yeso comercial FERRETERIA está entre 3.7 y 4.9 MPa, con una media de 4.3 MPa y una desviación estándar de .24.

Su asimetría es -1.615 por lo que al ser negativa nos indica una distribución sesgada a la izquierda.

Yeso FERRETERIA reciclado

Tabla 69. Estadística descriptiva sobre la fuerza de compresión del yeso FERRETERIA reciclado. Fuente propia.

FERRE_R_Fractura	Media		1.1000	.13503
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	.5190	
		Límite superior	1.6810	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		1.2300	
	Varianza		.055	
	Desv. Desviación		.23388	
	Mínimo		.83	
	Máximo		1.24	
	Rango		.41	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1.728	1.225

Con una confianza del 95% la proporción del valor de la tensión de la fractura del yeso reciclado de FERRETERIA está entre .5190 y 1.6810 MPa, con una media de 1.1 MPa y una desviación estándar de .23.

Su asimetría es -1.728 por lo que al ser negativa nos indica una distribución sesgada a la izquierda.

Prueba T de Student para fuerza de compresión

Yeso VALDI comercial y reciclado

Tabla 70. Estadística de grupo sobre la fuerza de compresión para el yeso VALDI comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_VALDI	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Tensión_fractura_VALDI	comercial	3	15.9767	.29535	.17052
	reciclado	3	.4067	.23438	.13532

Tabla 71. Prueba T student para la fuerza de compresión del yeso VALDI comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Tensión_fractura_VALDI	Se asumen varianzas iguales	.054	.828	71.524	4	.000	15.57000	.21769	14.96560	16.17440
	No se asumen varianzas iguales			71.524	3.804	.000	15.57000	.21769	14.95309	16.18691

El valor P de la prueba se encuentra en .00, es menor a 0.05, por lo tanto, hay una diferencia significativa en la tensión de fractura entre yeso VALDI comercial y reciclado.

Yeso MDC comercial y reciclado

Tabla 72. Estadística de grupo sobre la fuerza de compresión para el yeso MDC comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_MDC	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Tension_Fractura_MDC	comercial	3	15.9167	.30665	.17704
	reciclado	3	4.7500	2.00716	1.15884

Tabla 73. Prueba Tstudent para la fuerza de compresión del yeso MDC comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Tension_Fractura_MDC	Se asumen varianzas iguales	8.129	.046	9.526	4	.001	11.16667	1.17228	7.91189	14.42144
	No se asumen varianzas iguales			9.526	2.093	.009	11.16667	1.17228	6.33220	16.00113

El valor P de la prueba se encuentra en .00, es menor a 0.05, por lo tanto, hay una diferencia significativa en la tensión de fractura entre yeso MDC comercial y reciclado.

Yeso a GRANEL comercial y reciclado

Tabla 74. Estadística de grupo sobre la fuerza de compresión para el yeso a GRANEL comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_GRANEL	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Tension_Fractura_GRANEL	comercial	3	16.2333	.05033	.02906
	reciclado	3	8.2200	2.38854	1.37902

Tabla 75. Prueba Tstudent para la fuerza de compresión del yeso a GRANEL comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Tension_Fractura_GRANEL	Se asumen varianzas iguales	4.621	.098	5.810	4	.004	8.01333	1.37933	4.18371	11.84296
	No se asumen varianzas iguales			5.810	2.002	.028	8.01333	1.37933	2.08361	13.94306

El valor P de la prueba se encuentra en .02, es menor a 0.05, por lo tanto, hay una diferencia significativa en la tensión de fractura entre yeso a GRANEL comercial y reciclado.

Yeso a FERRETERIA comercial y reciclado

Tabla 76. Estadística de grupo sobre la fuerza de compresión para el yeso FERRETERIA comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_FERRE	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Tension_Fractura_FERRERIA	comercial	3	4.3200	.24434	.14107
	reciclado	3	1.1000	.23388	.13503

Tabla 77. Prueba Tstudent para la fuerza de compresión del yeso FERRETERIA comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Tension_Fractura_FERRERIA	Se asumen varianzas iguales	.010	.926	16.489	4	.000	3.22000	.19528	2.67782	3.76218
	No se asumen varianzas iguales			16.489	3.992	.000	3.22000	.19528	2.67741	3.76259

El valor P de la prueba se encuentra en .00, es menor a 0.05, por lo tanto, hay una diferencia significativa en la tensión de fractura entre yeso FERRETERIA comercial y reciclado.

Pureza química

Yeso VALDI comercial y reciclado

Tabla 78. Estadística de grupos sobre el análisis elemental del yeso VALDI comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_VALDI	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Oxigeno_VALDI	Comercial	3	50.6300	.75604	.43650
	Reciclado	3	51.4933	1.01007	.58316
Magnesio_VALDI	Comercial	3	.1333	.04163	.02404
	Reciclado	3	.5000	.08000	.04619
Aluminio_VALDI	Comercial	3	.1433	.01528	.00882
	Reciclado	3	.1800	.05196	.03000
Silicio_VALDI	Comercial	3	.2800	.04583	.02646
	Reciclado	3	1.1933	.16042	.09262
Azufre_VALDI	Comercial	3	21.6767	.17898	.10333
	Reciclado	3	21.0967	.53463	.30867
Calcio_VALDI	Comercial	3	27.1367	.49723	.28707
	Reciclado	3	25.5400	.67224	.38812

Tenemos una N muestral de 3 para ambos yesos, la media para oxígeno en yeso comercial es de 50.6, es menor que la del reciclado que tiene 51.4, la media de magnesio en yeso comercial es de .13 y en reciclado es mayor con .50, la media de aluminio en yeso comercial es .14 y en reciclado es de .18, siendo mayor, la media de silicio en yeso comercial es de .28 y en reciclado es mayor con 1.19, la media del azufre en yeso comercial es de 21.6 y en el reciclado es menor con 21.0 y la media del calcio para yeso comercial es de 27.1 y es menor en el reciclado que tiene 25.5.

Prueba T de Student

Tabla 79. Prueba T student para el análisis elemental del yeso VALDI comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Oxigeno_VALDI	Se asumen varianzas iguales	.160	.710	-1.185	4	.302	-.86333	.72843	-2.88578	1.15911
	No se asumen varianzas iguales			-1.185	3.706	.306	-.86333	.72843	-2.95074	1.22407
Magnesio_VALDI	Se asumen varianzas iguales	.613	.477	-7.042	4	.002	-.36667	.05207	-.51123	-.22210
	No se asumen varianzas iguales			-7.042	3.009	.006	-.36667	.05207	-.53208	-.20125
Aluminio_VALDI	Se asumen varianzas iguales	7.191	.055	-1.173	4	.306	-.03667	.03127	-.12348	.05015
	No se asumen varianzas iguales			-1.173	2.343	.346	-.03667	.03127	-.15398	.08065
Silicio_VALDI	Se asumen varianzas iguales	2.373	.198	-9.482	4	.001	-.91333	.09632	-1.18076	-.64590
	No se asumen varianzas iguales			-9.482	2.324	.007	-.91333	.09632	-1.27701	-.54966
Azufre_VALDI	Se asumen varianzas iguales	3.025	.157	1.782	4	.149	.58000	.32551	-.32376	1.48376
	No se asumen varianzas iguales			1.782	2.443	.193	.58000	.32551	-.60334	1.76334
Calcio_VALDI	Se asumen varianzas iguales	.614	.477	3.307	4	.030	1.59667	.48275	.25635	2.93699
	No se asumen varianzas iguales			3.307	3.684	.034	1.59667	.48275	.20981	2.98352

El valor P de la prueba para oxígeno, aluminio y azufre se encuentran por arriba de 0.05, por lo tanto, no hay una diferencia significativa en estos elementos entre yeso VALDI comercial y reciclado. Es diferente para magnesio, silicio y calcio que su valor se encuentra por debajo de 0.05, entonces si hay una diferencia significativa en estos elementos entre yeso VALDI comercial y reciclado.

Yeso MDC comercial y reciclado

Tabla 80. Estadística de grupos sobre el análisis elemental del yeso MDC comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_MDC	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Oxigeno_MDC	comercial	3	49.7233	.68603	.39608
	reciclado	3	51.7633	.35388	.20431
Magnesio_MDC	comercial	3	.8033	.20793	.12005
	reciclado	3	.2033	.13317	.07688
Silicio_MDC	comercial	3	1.3500	.24515	.14154
	reciclado	3	.3867	.10017	.05783
Azufre_MDC	comercial	3	20.4167	.32624	.18836
	reciclado	3	21.7700	.02000	.01155
Calcio_MDC	comercial	3	25.6700	.72519	.41869
	reciclado	3	25.9633	.30616	.17676

Tenemos una N muestral de 3 para ambos yesos, la media para oxígeno en yeso comercial es de 49.7, es menor que la del reciclado que tiene 51.7, la media de magnesio en yeso comercial es de .80 y en reciclado es menor con .20, la media de silicio en yeso comercial es de 1.35 y en reciclado es menor con .38, la media del azufre en yeso comercial es de 20.4 y en el reciclado es mayor con 21.7 y la media

del calcio para yeso comercial es de 25.6 y es ligeramente mayor en el reciclado que tiene 25.9.

Prueba T de Student

Tabla 81. Prueba T student para el análisis elemental del yeso MDC comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Oxigeno_MDC	Se asumen varianzas iguales	2.167	.215	-4.577	4	.010	-2.04000	.44567	-3.27738	-.80262
	No se asumen varianzas iguales			-4.577	2.994	.020	-2.04000	.44567	-3.45993	-.62007
Magnesio_MDC	Se asumen varianzas iguales	1.163	.342	4.209	4	.014	.60000	.14256	.20420	.99580
	No se asumen varianzas iguales			4.209	3.404	.019	.60000	.14256	.17534	1.02466
Silicio_MDC	Se asumen varianzas iguales	1.251	.326	6.300	4	.003	.96333	.15290	.53882	1.38785
	No se asumen varianzas iguales			6.300	2.650	.012	.96333	.15290	.43824	1.48842
Azufre_MDC	Se asumen varianzas iguales	6.945	.058	-7.172	4	.002	-1.35333	.18871	-1.87727	-.82939
	No se asumen varianzas iguales			-7.172	2.015	.019	-1.35333	.18871	-2.15951	-.54716
Calcio_MDC	Se asumen varianzas iguales	1.640	.270	-.645	4	.554	-.29333	.45447	-1.55515	.96848
	No se asumen varianzas iguales			-.645	2.691	.569	-.29333	.45447	-1.83832	1.25165

El valor P de la prueba calcio se encuentra por arriba de 0.05, por lo tanto, no hay una diferencia significativa en este elemento entre yeso MDC comercial y reciclado. Es diferente para oxígeno, magnesio, silicio y azufre que su valor se encuentra por debajo de 0.05, entonces si hay una diferencia significativa en estos elementos entre yeso MDC comercial y reciclado.

Se compararon únicamente los elementos químicos que se encontraban en ambos yesos, el yeso reciclado no contiene: aluminio, cobre, zinc y yodo, que, si están presentes en el yeso comercial, pero en bajas cantidades.

Yeso a GRANEL comercial y reciclado

Tabla 82. Estadística de grupos sobre el análisis elemental del yeso a GRANEL comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_GRANEL	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Oxigeno_Granel	comercial	3	51.2800	.26230	.15144
	reciclado	3	52.7300	.43555	.25146
Magnesio_Geanel	comercial	3	.8533	.34933	.20169
	reciclado	3	.7900	.08718	.05033
Silicio_Granel	comercial	3	1.5433	.56580	.32667
	reciclado	3	1.5467	.08021	.04631
Azufre_Granel	comercial	3	20.0333	.56889	.32845
	reciclado	3	20.2400	.11358	.06557
Calcio_Granel	comercial	3	23.9833	.63129	.36448
	reciclado	3	24.6967	.24194	.13968

Tenemos una N muestral de 3 para ambos yesos, la media para oxígeno en yeso comercial es de 51.2, es menor que la del reciclado que tiene 52.7, la media de

magnesio en yeso comercial es de .85 y en reciclado es menor con .79, la media de silicio en yeso comercial es de 1.54, al igual que en reciclado, la media del azufre en yeso comercial es de 20.0 y en el reciclado es similar con 20.2 y la media del calcio para yeso comercial es de 23.9 y es mayor en el reciclado que tiene 24.6.

Prueba T de Student

Tabla 83. Prueba Tstudent para el análisis elemental del yeso a GRANEL comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Oxigeno_Granel	Se asumen varianzas iguales	.816	.417	-4.940	4	.008	-1.45000	.29354	-2.26500	-.63500
	No se asumen varianzas iguales			-4.940	3.282	.013	-1.45000	.29354	-2.34036	-.55964
Magnesio_Geanel	Se asumen varianzas iguales	3.596	.131	.305	4	.776	.06333	.20787	-.51381	.64048
	No se asumen varianzas iguales			.305	2.248	.787	.06333	.20787	-.74282	.86948
Silicio_Granel	Se asumen varianzas iguales	6.546	.063	-.010	4	.992	-.00333	.32993	-.91937	.91271
	No se asumen varianzas iguales			-.010	2.080	.993	-.00333	.32993	-1.37165	1.36498
Azufre_Granel	Se asumen varianzas iguales	7.120	.056	-.617	4	.571	-.20667	.33493	-1.13658	.72325
	No se asumen varianzas iguales			-.617	2.159	.596	-.20667	.33493	-1.55058	1.13724
Calcio_Granel	Se asumen varianzas iguales	3.794	.123	-1.828	4	.142	-.71333	.39033	-1.79706	.37039
	No se asumen varianzas iguales			-1.828	2.575	.180	-.71333	.39033	-2.07994	.65327

El valor P de la prueba, el magnesio, silicio, azufre y calcio se encuentra por arriba de 0.05, por lo tanto, no hay una diferencia significativa en este elemento entre yeso MDC comercial y reciclado. Es diferente para el oxígeno que su valor se encuentra por debajo de 0.05, entonces si hay una diferencia significativa en este elemento entre yeso MDC comercial y reciclado.

Se compararon únicamente los elementos químicos que se encontraban en ambos yesos, el yeso reciclado no contiene: aluminio, cobre, zinc y yodo, que, si están presentes en el yeso comercial, pero en bajas cantidades.

Yeso FERRETERIA comercial y reciclado

Tabla 84. Estadística de grupos sobre el análisis elemental del yeso FERRETERIA comercial y reciclado. Fuente propia.

	Yeso_FERRE	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Oxigeno_Ferre	comercial	3	50.8033	.30072	.17362
	reciclado	3	50.6733	1.13059	.65275
Magnesio_Ferre	comercial	3	.5933	.40624	.23454
	reciclado	3	.3633	.04509	.02603
Silicio_Ferre	comercial	3	.8433	.54243	.31317
	reciclado	3	.8133	.06110	.03528
Azufre_Ferre	comercial	3	21.2700	.37470	.21633
	reciclado	3	21.4500	.32419	.18717
Calcio_Ferre	comercial	3	26.3367	.33081	.19099
	reciclado	3	25.9100	.56719	.32747

Tenemos una N muestral de 3 para ambos yesos, la media para oxígeno en yeso comercial es de 50.8, es ligeramente mayor que la del reciclado que tiene 50.6, la

media de magnesio en yeso comercial es de .59 y en reciclado es menor con .36, la media de silicio en yeso comercial es de .84, en el yeso reciclado es de .81, la media del azufre en yeso comercial es de 21.2 y en el reciclado es similar con 21.4 y la media del calcio para yeso comercial es de 26.3 y es menor en el reciclado que tiene 25.9.

Prueba T de Student

Tabla 85. Prueba T student para el análisis elemental del yeso FERRETERIA comercial y reciclado. Fuente propia.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Oxigeno_Ferre	Se asumen varianzas iguales	4.992	.089	.192	4	.857	.13000	.67544	-1.74533	2.00533
	No se asumen varianzas iguales			.192	2.282	.863	.13000	.67544	-2.45815	2.71815
Magnesio_Ferre	Se asumen varianzas iguales	4.100	.113	.975	4	.385	.23000	.23598	-.42520	.88520
	No se asumen varianzas iguales			.975	2.049	.430	.23000	.23598	-.76232	1.22232
Silicio_Ferre	Se asumen varianzas iguales	5.500	.079	.095	4	.929	.03000	.31515	-.84501	.90501
	No se asumen varianzas iguales			.095	2.051	.933	.03000	.31515	-1.29435	1.35435
Azufre_Ferre	Se asumen varianzas iguales	.141	.726	-.629	4	.563	-.18000	.28607	-.97424	.61424
	No se asumen varianzas iguales			-.629	3.919	.564	-.18000	.28607	-.98076	.62076
Calcio_Ferre	Se asumen varianzas iguales	1.246	.327	1.125	4	.323	.42667	.37909	-.62586	1.47920
	No se asumen varianzas iguales			1.125	3.220	.337	.42667	.37909	-.73454	1.58787

El valor P de la prueba, para todos los elementos se encuentra por arriba de 0.05, por lo tanto, no hay una diferencia significativa en ningún elemento entre yeso MDC comercial y reciclado.

Se compararon únicamente los elementos químicos que se encontraban en ambos yesos, el yeso reciclado contiene yodo y en el comercial no lo presenta, pero si aluminio.

ANOVA de un factor entre grupos

Tabla 86. Resultado de ANOVA para el tiempo de fraguado entre las medias de todos los grupos de yeso. Fuente propia.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
T_Fraguado_VALDI	Entre grupos	86.400	1	86.400	122.880	.000
	Dentro de grupos	5.625	8	.703		
	Total	92.025	9			
T_Fraguado_MDC	Entre grupos	86.400	1	86.400	122.880	.000
	Dentro de grupos	5.625	8	.703		
	Total	92.025	9			

T_Fraguado_GRANEL	Entre grupos	21.600	1	21.600	30.720	.001
	Dentro de grupos	5.625	8	.703		
	Total	27.225	9			
T_Fraguado_FERRE	Entre grupos	15.000	1	15.000	22.967	.001
	Dentro de grupos	5.225	8	.653		
	Total	20.225	9			

Según ANOVA, el tiempo de fraguado para los 4 yesos tuvo un valor de P menos a 0.05 por lo tanto hay diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de fraguado de los yesos.

Tabla 87. Resultado de ANOVA para la expansión de ajuste lineal final entre las medias de todos los grupos de yeso. Fuente propia.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Yeso_VALDI_E_Final	Entre grupos	174.960	1	174.960	.	.
	Dentro de grupos	.000	4	.000		
	Total	174.960	5			
Yeso_MDC_E_Final	Entre grupos	167.482	1	167.482	1004.890	.000
	Dentro de grupos	.667	4	.167		
	Total	168.148	5			
Yeso_GRANEL_E_Final	Entre grupos	249.615	1	249.615	.	.
	Dentro de grupos	.000	4	.000		
	Total	249.615	5			
Yeso_FERRE_E_Final	Entre grupos	150.000	1	150.000	.	.
	Dentro de grupos	.000	4	.000		
	Total	150.000	5			

Según ANOVA, la expansión de ajuste lineal, al tener valores tan similares, sólo arrojó un valor de P para el yeso MDC y fue de 0.00 que es menor a 0.05 por lo tanto hay diferencias estadísticamente significativas en la expansión de ajuste lineal de este yeso.

Tabla 88. Resultado de ANOVA para la fuerza de compresión entre las medias de todos los grupos de yeso. Fuente propia.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tensión_fractura_VALDI	Entre grupos	363.637	1	363.637	5115.649	.000
	Dentro de grupos	.284	4	.071		
	Total	363.922	5			
Tension_Fractura_MDC	Entre grupos	187.042	1	187.042	90.737	.001
	Dentro de grupos	8.245	4	2.061		
	Total	195.287	5			
Tension_Fractura_GRANEL	Entre grupos	96.320	1	96.320	33.751	.004
	Dentro de grupos	11.415	4	2.854		
	Total	107.736	5			
Tension_Fractura_FERRE	Entre grupos	15.553	1	15.553	271.899	.000
	Dentro de grupos	.229	4	.057		
	Total	15.781	5			

Según ANOVA, la tensión de fractura de los 4 yesos ya sea comercial o reciclado tienen un valor de P menor a 0.05 por lo tanto si hay diferencias estadísticamente significativas en la tensión de fractura de los yesos.

Tabla 89. Resultado de ANOVA para la pureza química entre las medias de todos los grupos de yeso. Fuente propia.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Oxigeno_VALDI	Entre grupos	1.118	1	1.118	1.405	.302
	Dentro de grupos	3.184	4	.796		
	Total	4.302	5			
Magnesio_VALDI	Entre grupos	.202	1	.202	49.590	.002
	Dentro de grupos	.016	4	.004		
	Total	.218	5			
Silicio_VALDI	Entre grupos	1.251	1	1.251	89.911	.001
	Dentro de grupos	.056	4	.014		
	Total	1.307	5			
Azufre_VALDI	Entre grupos	.505	1	.505	3.175	.149
	Dentro de grupos	.636	4	.159		
	Total	1.140	5			
Calcio_VALDI	Entre grupos	3.824	1	3.824	10.939	.030

	Dentro de grupos	1.398	4	.350		
	Total	5.222	5			
Aluminio_VALDI	Entre grupos	.002	1	.002	1.375	.306
	Dentro de grupos	.006	4	.001		
	Total	.008	5			
Oxigeno_MDC	Entre grupos	6.242	1	6.242	20.952	.010
	Dentro de grupos	1.192	4	.298		
	Total	7.434	5			
Magnesio_MDC	Entre grupos	.540	1	.540	17.715	.014
	Dentro de grupos	.122	4	.030		
	Total	.662	5			
Silicio_MDC	Entre grupos	1.392	1	1.392	39.696	.003
	Dentro de grupos	.140	4	.035		
	Total	1.532	5			
Azufre_MDC	Entre grupos	2.747	1	2.747	51.431	.002
	Dentro de grupos	.214	4	.053		
	Total	2.961	5			
Calcio_MDC	Entre grupos	.129	1	.129	.417	.554
	Dentro de grupos	1.239	4	.310		
	Total	1.368	5			
Oxigeno_Granel	Entre grupos	3.154	1	3.154	24.400	.008
	Dentro de grupos	.517	4	.129		
	Total	3.671	5			
Magnesio_Geanel	Entre grupos	.006	1	.006	.093	.776
	Dentro de grupos	.259	4	.065		
	Total	.265	5			
Silicio_Granel	Entre grupos	.000	1	.000	.000	.992
	Dentro de grupos	.653	4	.163		
	Total	.653	5			
Azufre_Granel	Entre grupos	.064	1	.064	.381	.571
	Dentro de grupos	.673	4	.168		
	Total	.737	5			
Calcio_Granel	Entre grupos	.763	1	.763	3.340	.142
	Dentro de grupos	.914	4	.229		
	Total	1.677	5			
Oxigeno_Ferre	Entre grupos	.025	1	.025	.037	.857
	Dentro de grupos	2.737	4	.684		
	Total	2.763	5			

Magnesio_Ferre	Entre grupos	.079	1	.079	.950	.385
	Dentro de grupos	.334	4	.084		
	Total	.413	5			
Silicio_Ferre	Entre grupos	.001	1	.001	.009	.929
	Dentro de grupos	.596	4	.149		
	Total	.597	5			
Azufre_Ferre	Entre grupos	.049	1	.049	.396	.563
	Dentro de grupos	.491	4	.123		
	Total	.540	5			
Calcio_Ferre	Entre grupos	.273	1	.273	1.267	.323
	Dentro de grupos	.862	4	.216		
	Total	1.135	5			

Según ANOVA, los elementos químicos: Magnesio de VALDI, Silicio de VALDI, Calcio de VALDI, Oxígeno de MDC, Magnesio de MDD, Silicio de MDC, Azufre de MDC y Oxígeno de GRANEL, el valor de P es menor a 0.05 por lo tanto si hay diferencias estadísticamente significativas en la pureza química en estos yesos.

En las 4 pruebas en las que se realizó ANOVA nos dio un resultado menor a 0.05, arrojándonos así diferencias estadísticamente significativas para todos los yesos.

12.- DISCUSIÓN

A la revisión bibliográfica, se encontraron diferentes artículos sobre el reciclado de yeso en el área de construcción y sólo 1 artículo que fue sobre el reciclado de yeso dental.

Cordon y cols., en el 2019 mencionan que el proceso de reciclado del yeso es sencillo (9), nosotros lo pudimos comprobar al realizar únicamente, trituración, calcinación y tamizaje.

La temperatura de deshidratación varía según diferentes autores, para Cordon y cols., se necesita una temperatura baja de 100-130°C (9), para Bardella y cols., la temperatura de deshidratación fue de 150,180 y 200°C por 24hrs (11) y para Begliardo y cols., la temperatura de secado fue de 100, 110, 120, 130 y 140°C (12); en nuestro estudio se utilizó una temperatura de 130°C durante 4 horas, donde coincide con los autores mencionados al usar una temperatura baja, con la que se pudo deshidratar y se siguió lo indicado por Anusavice, para respetar las propiedades del yeso tipo II con una temperatura de 110-130°C (3), nosotros usamos la máxima.

Los resultados de Fernández C. mencionan que la recuperación del yeso reciclado es aproximadamente del 50% (10), nosotros logramos obtener de 1 kilo de yeso para cada marca, diferentes pesos, que se encuentran por debajo del 50% mencionado por ellos, esto lo podemos atribuir al tipo de molino utilizado por nosotros.

Bardella y cols., obtuvieron resultados en donde arrojaron que el aumento de la temperatura afecta las propiedades físicas del polvo (11), nuestra investigación está de acuerdo con ellos, debido a que la manipulación se vuelve un poco más complicada y no se mantienen los mismos datos de las propiedades físicas del yeso comercial. En su comparación del tiempo de fraguado inicial-final para el yeso comercial fue de 12:28 minutos y para los reciclados aumentó a: 19:08, 19:27 y 26:03 minutos (11), en nuestro estudio nos dimos cuenta que los tiempos de fraguado disminuyeron para los yesos VALDI, MDC y FERRETERIA, para el yeso a GRANEL aumentó, siendo esto algo positivo, porque el tiempo de fraguado final del comercial se encuentra en 5:30 y el del reciclado está en 8 minutos, siendo parecido con VALDI y MDC comercial, entonces nosotros no estamos de acuerdo con Bardella y cols., (11) pero si con Camarini y cols., (17) ya que ellos mencionan que el fraguado del yeso reciclado es más rápido y el tiempo de trabajo es menor, por lo que ellos sugieren el uso de retardadores de yeso como el ácido cítrico en dosis adecuadas para poder ajustar el tiempo de fraguado, pero se debe tener en cuenta que puede disminuir la resistencia a la compresión y la dureza. También Bardella y cols., llegaron a la conclusión que el yeso comercial tiene mejor resistencia a la compresión, pero el rendimiento del yeso reciclado es aceptable

(11), dentro de las pruebas que nosotros realizamos encontramos que la fuerza de compresión si disminuyó para todos los yesos, esto lo atribuimos a la mayor necesidad de agua que tienen los yesos reciclados.

Zakiyuddin y cols., encontraron que los cristales encontrados en el yeso tipo II fresco presentaban superficies ásperas y en trozos grandes, con forma ortorrómbica irregular y correspondían a un β hemihidrato y para el yeso tipo III que fue calcinado observaron cristales con forma ortorrómbica irregular con partículas más pequeñas como fibra que es muy similar a los yesos frescos (21), en nuestro estudio también obtuvimos yesos reciclados con cristales similares a los de los yesos comerciales, tipo II, que corresponden a un β hemihidrato

Anusavice menciona que el tiempo de fraguado inicial se puede medir con una aguja Gillmore de 2.12mm de diámetro y un peso de 113.4g, al seguir entrando en el yeso, este aún no tiene una compresión que se pueda medir y si deja una marca perceptible con una aguja Gillmore con 1.06mm de diámetro y 453.6g indica que ha llegado al tiempo de fraguado final (3), en nuestro estudio lo pudimos comprobar con la adaptación de Gillmore que realizamos, siendo la más pesada la última que ocupamos y está dejaba una marca perceptible, indicándonos el final del tiempo de fraguado.

La norma ISO 6873:2013, por quien se rigió este proyecto de investigación nos menciona que el yeso debe ser uniforme, sin grumos ni cuerpos extraños, con un tiempo de fraguado que, dentro de un rango, el punto medio se tome como el valor reclamado por el fabricante, la expansión de ajuste lineal a las 2 horas debe ir entre 0 y 0.05 para el yeso tipo II clase 1 y para el clase 2 estará entre 0.06 y 0.30, la fuerza de compresión medida una hora después debe ser de 9.0 MPa (6), en nuestro estudio pudimos encontrar que el polvo si llega a ser uniforme, sin cuerpos extraños y algunos con una ligera formación de grumos, nos dimos cuenta que uno de los yesos comerciales no cumple con lo mencionado por sus fabricantes para el tiempo de fraguado y los yesos reciclado tienen un tiempo de fraguado inicial variable que puede ir de 1:30-6 minutos y el fraguado final va de 3-8 minutos dependiendo la marca de yeso, la expansión de ajuste lineal tuvo una variación mínima de .2-.1 mm más, la mayoría se quedó en la misma medida, por ultimo para la fuerza de compresión de nuestros yesos reciclados, considerando que los tamaños no fueron los mismos, comparados con el yeso comercial, nos dimos cuenta que únicamente el yeso reciclado de MDC y a GRANEL pueden llegar a cumplir con los 9MPa que pide la norma, esto lo atribuimos a que la proporción polvo/agua fue muy similar con los comerciales.

No se realizó la prueba de reproducción de detalles, la cual es requisito para la norma ISO 6873:2013, ni la fase de cristalinidad por medio de la difracción de rayos X, esto por un fallo inesperado del DRX y por la falta del molde específico que pedía la norma ISO 6873:2013 para su evaluación.

13.- CONCLUSIÓN

La pregunta de investigación de este estudio fue: ¿Cuáles son las propiedades físicas, químicas y mecánicas del yeso dental reciclado en comparación con las del yeso comercial y según la norma ISO 6873:2013?

Ahora sabemos que el yeso reciclado tiene como propiedades:

- Una correcta homogeneidad para los yesos realizados con MDC y a GRANEL, a la inspección visual se encuentran polvos que van de color blanco a blanco grisáceo, son uniformes, sin cuerpos extraños y con ligeros grumos para MDC.
- El tiempo de fraguado es aceptable, va de 1:30-6:30 minutos el inicial y el final de 3-8 minutos según cada yeso
- Una expansión de ajuste lineal que se encuentra entre 0 y 0.02, lo cual cumple con la norma ISO 6873:2013.
- Para la fuerza de compresión, se encontró que solo la muestra 1 del yeso reciclado de a GRANEL cumplió con los 9Mpa que pide la norma ISO 6873:2013, aunque tuvimos 2 muestras que estuvieron cerca de los 9MPa, esto nos indica que se puede mejorar.

Para identificar las propiedades químicas, se realizó un análisis químico elemental, que nos indicó que los 4 yesos reciclados contenían oxígeno, azufre y calcio, en menor cantidad se encuentra, silicio, magnesio y sólo el yeso reciclado de FERRETERIA presentaba poca cantidad de yodo, esto nos indica que los yesos reciclados son ligeramente más puros que los yesos comerciales al tener menos elementos. Esta prueba no forma parte de los requisitos de la norma ISO 6873-2013. También se realizó una prueba de Cristalinidad por medio de la microscopía electrónica de barrido, con la que se observó la presencia de cristales β para todos los yesos reciclados.

Con esto podemos concluir que las propiedades físicas, químicas y mecánicas del yeso reciclado no son iguales a las del yeso comercial y aun así cumplen con la norma ISO 6873:2013, para la elaboración de un yeso reciclado será necesario mejorar algunas propiedades como la fuerza de compresión y aumentar en algunos casos el tiempo de fraguado, además se sugiere realizar las pruebas que faltaron en este proyecto, para poder tener un estudio completo y un yeso reciclado de calidad.

Por último, después de los resultados presentados y sabiendo que en cada posgrado de estomatología de la BUAP hay una cubeta de 20kilos para la recolección de yesos, que es llenada frecuentemente, vemos viable el reciclado de yeso dental, ya sea para su uso nuevamente en la facultad de estomatología o para el mejoramiento de suelos, para este último sería necesario realizar más estudios.

14.- Bibliografía

1. Walter C. Reciclaje de yeso dental. Latinoamericana de Ciencia y Tecnología; 2015.
2. Subsecretaria de Minería. Yeso 2017 [Internet]. 2017. Available from: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/419279/Perfil_Yeso_2018_T_.pdf
3. Anusavice. KJ. Gypsum Products. In: Phillips' Science of Dental Materials. 12th ed. España: Elsevier Ltd; 2012. p. 182–3.
4. Khanna RPK. Gypsum application - a boon to agricultural system. Just Agric. 2022;2(7):1–4.
5. Velazquez CDCMFJOR. Los yesos en Odontología. 2018;(167). Available from: <http://percano.mx/blog-percano/los-yesos-en-odontologia/>
6. Provided S, No ISO, Licensee IHS. INTERNATIONAL STANDARD Dentistry — Gypsum products. Vol. 2013, ISO. 2013. Report No.: 6873.
7. Ledesma AF, Santana FHB, Galindo LB, Ángel J, Alatorre A, Luis J, et al. Análisis químico elemental y de fases por medio de PIXE , DSC , TGA y DRX en MTA Angelus ® y un cemento Portland blanco Elemental chemical composition and phase analysis by means of PIXE , DSC ,. Rev Odontológica Mex. 2016;20:187–92.
8. Sánchez UG, Guerra ST. Microscopía electrónica de barrido y difracción de rayos X como técnicas de caracterización de sistemas TiO₂ / NiO en película delgada .
9. Cordon HCF, Cagnoni FC, Ferreira FF. Comparison of physical and mechanical properties of civil construction plaster and recycled waste gypsum from São Paulo, Brazil. J Build Eng [Internet]. 2019;22(January):504–12. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.010>
10. Fernández Casado S. Reciclaje interno de los residuos en las fábricas. Reutilización del yeso reciclado para la fabricación de placas de yeso laminado. CONAMA10 - Congr Nac del Medio Ambient [Internet]. 2010;17. Available from: <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT2010/1335816526.pdf>
11. Bardella PS, Camarini G. Recycled plaster: Physical and mechanical properties. Adv Mater Res. 2012;374–377:1307–10.
12. Begliardo H, Sánchez M, Panigatti MC, Garrappa S. Reutilización de yeso recuperado de construcciones: Un estudio basado en requisitos de aptitud de normas argentinas y chilenas. Rev la Constr. 2013;12(3):27–35.
13. Camarini G, Pinheiro SMM. Microstructure of recycled gypsum plaster by

- SEM. *Adv Mater Res.* 2014;912–914(January 2015):243–6.
14. M. M. Pinheiro S, Camarini G. Characteristics of Gypsum Recycling in Different Cycles. *Int J Eng Technol.* 2015;7(3):215–8.
 15. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J.* 2015;219(11):521–9.
 16. Kasparova M, Grafova L, Dvorak P, Dostalova T, Prochazka A, Eliasova H, et al. Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. *Biomed Eng Online.* 2013;12(1):1–11.
 17. Camarini G, Pinto MCC, Moura AG de, Manzo NR. Effect of citric acid on properties of recycled gypsum plaster to building components. *Constr Build Mater* [Internet]. 2016;124:383–90. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.112>
 18. Arora S, Mittal S, Dogra V. Eco-friendly dentistry: Need of future. An overview. *J Dent Allied Sci.* 2017;6(1):22.
 19. 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.* 2017;164:288–300.
 20. Papailiopoulos N, Grigoropoulos H, Founti M. Energy Analysis of the Effects of High-Level Reincorporation of Post-consumer Recycled Gypsum in Plasterboard Manufacturing. *Waste and Biomass Valorization.* 2017;8(5):1829–39.
 21. Zakiyuddin A, Joesiana D, Khoirurrijal RA, Astutiningsih S. Recyclability of dental gypsum via calcination. *Mater Sci Forum.* 2020;1000 MSF:90–6.
 22. Pedreño-Rojas MA, Fořt J, Černý R, Rubio-de-Hita P. Life cycle assessment of natural and recycled gypsum production in the Spanish context. *J Clean Prod.* 2020;253.
 23. Weimann K, Adam C, Buchert M, Sutter J. Environmental evaluation of gypsum plasterboard recycling. *Minerals.* 2021;11(2):1–13.

15.- Anexos

Anexo 1, Requisitos para los yesos dentales según la norma ISO 6873:2013.

5 Requirements

5.1 Quality

When tested according to 7.1, the powder shall be uniform and free from foreign matter and lumps. When mixed according to the manufacturer's instructions the product shall produce a homogeneous mix.

5.2 Fluidity at pouring time (Type 1 materials only)

When tested according to 7.2 at a pouring time of 1,25 min, the fluidity of type 1 materials shall be equal to or greater than 70 mm.

5.3 Setting time

When tested according to 7.3, the setting time of type 1 materials shall be in the range of 2,5 min to 5,0 min and the setting time of all material types shall be within 20 % of the value claimed by the manufacturer in 8.2.1 h) or 8.2.2 h), whichever is appropriate for the packaging in which the product is supplied. If the manufacturer claims a range of setting time, then the midpoint of this range is taken as the value claimed by the manufacturer.

5.4 Linear setting expansion

When tested according to 7.4, the linear setting expansion shall be within the range listed in Table 1.

Table 1 — Linear setting expansion and compressive strength

Type	Linear setting expansion %				Compressive strength MPa	
	2 h		24 h		1 h	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.
1	0,00	0,15	-	-	4,0	8,0
2 (Class 1)	0,00	0,05	-	-	9,0	-
2 (Class 2)	0,06	0,30	-	-	9,0	-
3	0,00	0,20	-	-	20,0	-
4	0,00	0,15	0,00	0,18	35,0	-
5	0,16	0,30	-	-	35,0	-

5.5 Fracture (Type 1 materials only)

When tested according to 7.5, Type 1 impression plaster shall break with a clean fracture and be readily reassembled to form the shape and size of the original unbroken specimen.

5.6 Compressive strength

When tested according to 7.6, the compressive strength shall meet the requirement(s) of Table 1.

5.7 Reproduction of detail

Types 1 and 2: When tested according to 7.7, groove c in Figure 6 shall be reproduced.

Types 3, 4 and 5: When tested according to 7.7, groove a in Figure 6 shall be reproduced.

Anexo 2, Costo energético de la producción de Yeso Reciclado, realizado por el experto en el área.

1 KILO	ENERGÍA KW	HORAS	COSTO KW/H	AMORTIZACIÓN DE EQUIPO A 10 AÑOS COSTO POR HORA	TOTAL
calcinación para yeso hemi hidratado de fraguado rápido (200°C)	3	4	0.96	1.666666667	18.1866667
molienda a malla 200	200	1	0.96	0.182648402	192.182648
tamizaje manual	0	1	0	0.034246575	0.03424658
				costo por kilo	210.403562

Anexo 3, Tabla de recolección de resultados.

Resultados del yeso comercial VALDI							
	Homogeneidad	Tiempo de fraguado	Fuerza de compresión	Expansión de ajuste lineal	Pureza química	Cristalinidad	Fase de Cristalinidad
Muestra 1							
Muestra 2							
Muestra 3							

Anexo 4, Diagrama de obtención de yeso reciclado.



Anexo 5, Diagrama de pruebas físicas, químicas y mecánicas.

