



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**APROVECHAMIENTO DE MOLDURA DE YESO  
PROVENIENTE DE PROCESOS CERÁMICOS EN  
SENCO COLOMBIANA SAS.**

Autor

Wilson Andrés Herrera Sánchez

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química

Medellín, Colombia

2020.



**APROVECHAMIENTO DE MOLDURA DE YESO PROVENIENTE DE  
PROCESOS CERÁMICOS EN SENCO COLOMBIANA SAS.**

Wilson Andrés Herrera Sánchez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar  
al título de:  
Ingeniero Químico

Asesores (a):

Natalia Andrea Gómez Vanegas, Dra. Ingeniería  
John Fredy Bañol Gutiérrez. Ing. Químico

Línea de Investigación:  
Práctica empresarial

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química  
Medellín, Colombia  
2020.

## **RESUMEN**

Senco Colombiana SAS, industria del sector cerámico, consume altas cantidades de yeso en la fabricación de moldes con los que se da forma a las piezas cerámicas, su manejo posterior ha constituido un problema. Luego de su utilización, el yeso no resulta útil para el proceso constituyendo dificultades logísticas para su almacenamiento, transporte y disposición que sugieren la búsqueda de alternativas para el aprovechamiento de este material.

El concepto de economía circular persigue la máxima utilización productiva de materias primas, subproductos y producto terminado para

la generación de valor agregado en diferentes procesos, disminuyendo residuos que por su disposición vienen a convertirse en contaminantes. Es así, como se plantea una oportunidad de negocio a partir de un residuo de proceso cerámico.

La experimentación demostró la capacidad del sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), también conocido como yeso mineral, para ceder parte de su agua de cristalización para formar los sulfatos de calcio hemihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) y anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ). Igualmente fue posible la rehidratación del hemihidrato, o fraguado, para obtener la fase dihidratada cerrando con ello el ciclo del yeso.

El estudio del mercado mostró el potencial de la utilización de yeso recuperado en la producción y comercialización de estucos, placas de yeso y moldes para accesorios cerámicos pequeños, demostrando la factibilidad financiera del proceso.

Otros usos posibles se encuentran en la producción de fertilizantes agrícolas, molduras de enlucido y figuras artísticas.

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.	9
OBJETIVOS.	13
Objetivo General.	13
Objetivos Específicos.	13
1. MARCO TEÓRICO.	14
2. METODOLOGÍA.	22
2.1. Etapa 1. Caracterización de la materia prima disponible.	22
2.2. Etapa 2. Búsqueda bibliográfica para establecer usos alternativos.	23
2.3. Etapa 3. Adecuación de materia prima y evaluación técnica	23
2.4. Etapa 4: Estudios de viabilidad jurídica y financiera.	24
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.	26
3.1. Análisis legal y jurídico.	27
3.2. Estudio de las molduras de yeso.	28
3.2.1. Recuperación de molduras de yeso y producción de hemihidrato $\beta$ .	32
3.2.2. Perfectibilidad financiera recuperación de molduras de yeso.	35
3.3. Estucos y revestimientos.	37
3.3.1. Mercado de los estucos y revestimientos.	39
3.3.2. Productos auxiliares a las pinturas.	40
3.3.2.1. Distribución geográfica de la producción.	41
3.3.2.2. Evolución de las exportaciones e importaciones de productos auxiliares a las pinturas.	43
3.3.3. Producción de estuco.	45
3.3.4. Perfectibilidad financiera producción y comercialización de estuco.	45
3.4. Placas de yeso.	47
3.4.1. Mercado de las placas de yeso.	48
3.4.2. Fabricación de placas de yeso.	52
3.4.3. Prefectibilidad financiera producción y comercialización de placas de yeso.	53
3.5. Moldes para accesorios.	55
3.5.1. Mercado de los moldes para accesorios.	57
3.6. Análisis del riesgo.	58
3.6.1. Debilidades.	58
3.6.2. Oportunidades.	59

3.6.3. Fortalezas.	59
3.6.4. Amenazas.	60
4. CONCLUSIONES.	61
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	64
6. ANEXOS.	66
6.1. Fabricantes y distribuidores de estucos en Colombia.	66
6.2. Fabricantes y distribuidores de placas de yeso en Colombia.	67
6.3. Fraguado del yeso. Acelerantes y desacelerantes.	67
6.3.1. Los acelerantes de fraguado del yeso.	67
6.3.2. Los retardantes de fraguado del yeso.	68
6.4. Aspectos Legales y Normativos.	69
6.4.1. Normas generales.	70
6.4.2. Leyes.	71
6.4.3. Decretos.	73
6.4.4. Resoluciones.	75
6.4.5. Regionales y municipales.	78
6.4.6. Normas de técnicas de calidad.	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Composición y propiedades del yeso.	14
Tabla 2. Sulfato calcio en sus fases hidratadas y deshidratadas.	18
Tabla 3. Propiedades físicas de los hemihidratos alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ). (8)	20
Tabla 4. Propiedades del yeso de moldura.	28
Tabla 5. Distribución de tamaño de partícula de yeso de moldura recuperada.	29
Tabla 6. Temperaturas de cocción de yeso y observaciones tras ser sometido a fraguado.	30
Tabla 7. Relación agua yeso (A/Y) en fraguado.	31
Tabla 8. Presupuesto de inversiones recuperación de molduras de yeso.	36
Tabla 9. Egresos presupuestados para recuperación de yeso por cocción.	36
Tabla 10. Formulaciones para la fabricación de estuco a partir de hemihidrato recuperado.	37
Tabla 11. Demanda de minerales de construcción estimada a partir de la demanda de cemento gris para viviendas y edificaciones sin demoliciones.	44
Tabla 12. Presupuesto de inversiones proceso de elaboración de estuco.	45
Tabla 13. Presupuesto de ingresos y egreso, impuestos e indicadores de perfectibilidad para la propuesta de elaboración de estuco a partir de hemihidrato recuperado.	46
Tabla 14. Tamaño del mercado de placas de yeso por tipo 2013-2020 (billones de m <sup>2</sup> ) (17).	50
Tabla 15. Tamaño del mercado de revestimiento para placas de yeso por tipo 2013-2020 (\$ billones) (17).	51
Tabla 16. Tamaño del mercado de placa de yeso estándar, por región 2013-2020 (\$ billones) (17).	52
Tabla 17. Presupuesto de inversiones proceso de elaboración de placas de yeso.	53
Tabla 18. Presupuesto de ingresos y egreso, impuestos e indicadores de perfectibilidad para la propuesta de elaboración de placas de yeso a partir de hemihidrato recuperado.	54
Tabla 19. Empresas fabricantes y distribuidoras de estucos.	65
Tabla 20. Empresas fabricantes y distribuidoras de placas de yeso.	66
Tabla 21. Acelerantes y retardantes de fraguado del yeso.	68
Tabla 22. Normativa General.	69
Tabla 23. Leyes ambientales y de saneamiento.	70
Tabla 24. Compilación de decretos ambientales.	72

Tabla 25. Compilación Resoluciones reguladoras de emisiones y captación de recursos naturales.	74
Tabla 26. Otras normativas nacionales y regionales.	77
Tabla 27. Normas de técnicas de calidad relativas al procesamiento de yeso.	77



<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>Pág.</b>
Gráfico 2. Diagrama de equilibrio Presión - Temperatura, agua y yeso (7).	15
Gráfico 3. Diagrama de fases del sulfato de calcio en función de la presión y de la temperatura [22].	17
Gráfico 4. Ciclo de fases del sistema yeso.	19
Gráfico 5. Seguimiento al fraguado de hemihidrato recuperado.	32
Gráfico 6. Distribución de proceso de recuperación de yeso de moldura.	33
Gráfico 7. Vista esquemática horno rotatorio contracorriente.	34
Gráfico 8. Ensayos con diferentes formulaciones de estucos a partir de hemihidrato recuperado.	38
Gráfico 9. Producción de la cadena Pinturas, Masillas, Pigmentos, Tintas y Removedores (2001-2014) (miles de millones de pesos) (12).	39
Gráfico 10. Producción del grupo de productos auxiliares a las pinturas (2001-2014) (miles de millones de pesos) (12).	40
Gráfico 11. Distribución geográfica de la producción de la cadena Pinturas, Masillas, Pigmentos, Tintas y Removedores (2001-2014) (12).	42
Gráfico 12. Curva de concentración empresarial de la cadena Pinturas, Masillas, Pigmentos, Tintas y Removedores (2001-2014) (12).	42
Gráfico 13. Evolución de la balanza comercial del grupo Productos auxiliares a las pinturas (2002-2016) (millones de dólares) (12).	44
Gráfico 14. Presupuesto de ingresos y egreso en la producción de estuco a partir de hemihidrato recuperado.	46
Gráfico 15. Proceso de producción de placas de yeso (14).	48
Gráfico 16. Placas de yeso elaboradas en base a hemihidrato recuperado.	49
Gráfico 17. Países con mayor consumo de placas de yeso (17).	50
Gráfico 18. Presupuesto de ingresos y egreso en la producción de placas de yeso a partir de hemihidrato recuperado. Curva de equilibrio.	54
Gráfico 19. Elaboración de moldes para accesorios con hemihidrato recuperado.	55
Gráfico 20. Elaboración de moldes para vajillería con hemihidrato recuperado.	56
Gráfico 21. Elaboración de molduras y cornisas con hemihidrato recuperado	56

## **APROVECHAMIENTO DE MOLDURA DE YESO PROVENIENTE DE PROCESOS CERÁMICOS EN SENCO COLOMBIANA SAS.**

### **INTRODUCCIÓN.**

Senco Colombiana SAS es una industria colombiana del sector cerámico que viene posicionando sus productos en un mercado nacional claramente definido en favor del grupo Corona, que por su tradición, calidad y confianza son una de las mayores industrial mundiales del sector. Innovación, precio, disponibilidad, atención oportuna, servicio postventa, valor agregado, procesos respetuosos con la naturaleza y los ecosistemas y calidad son valores que esta organización garantiza a sus clientes, los cuales le permiten ganar terreno en el sector.

En promedio 120 toneladas mensuales de minerales cerámicos ingresan a la planta, alrededor de 10 toneladas son descartadas por no cumplir con los mínimos de calidad, resultar contaminados o son separados por ser contaminantes de las piezas cerámicas. De igual forma ingresan 30 toneladas de yeso cada 25 días, la totalidad de estas son desechadas al cumplir su ciclo productivo por la actual imposibilidad para ser reutilizado en el proceso o uno diferente (Figura 1). La totalidad de estos excedentes es retirada de la planta hacia un relleno sanitario autorizado para su disposición.



Figura 1. Depósito de molduras de yeso utilizadas en Senco Colombiana.

El yeso es conocido como material de construcción, revestimientos y decorados desde la antigüedad, se han encontrado vestigios desde los egipcios, en Creta, en Catal-Huyukg (Turquía), en Grecia, aún hoy se conservan evidencias de ello (1).

Los estudios se remontan al siglo XVII con Lavoisier. Van t'Hoff y Le Chatelier realizaron grandes contribuciones al estudio de las propiedades y usos del yeso. Industrialmente se utiliza en la producción de ácido sulfúrico, retardador en la fabricación cemento, aditivo en la fabricación de papel, moldes dentales, férulas ortopédicas, adhesivo en la fabricación de bombillas, preparación de pigmentos y relleno inerte de pinturas y tintas, floculante en la industria cervecera, fertilizante agrícola, corrector del pH y fijador del calcio en los suelos, en el tratamiento de aguas, revestimientos y masillas en el sector de la construcción, placas para construcción, moldes cerámicos, molduras prefabricadas y elaboración de esculturas artísticas (2).

Dependiendo de la temperatura de cocción o deshidratación, el sulfato de calcio puede estar en forma de anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), hemihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) o dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). El sulfato de calcio hemihidratado, alfa y beta, se obtiene por deshidratación parcial del sulfato cálcico dihidratado. La temperatura a la que tiene lugar la cocción depende, de la velocidad de calentamiento, de la presión externa, de la granulometría del yeso, de su densidad y también de la agitación de la masa, afirma Arredondo (3).

Europa, fundamentalmente, ha emprendido esfuerzos para la recuperación del yeso, entre otras sustancias, que consume en la industria cerámica y en placas de yeso. El programa EuroGypsum, de la Comisión Europea (4), con una inversión de 1,7 millones de euros, se ha propuesto la recuperación de los más de 1.600 millones de metros cuadrados de yeso.

El término "economía circular" se utilizó por primera vez en la literatura occidental en 1980 (Pearce y Turner 1990) para describir las interacciones entre economía y medio ambiente (5). En 2014, el entonces Comisario Europeo de Medio Ambiente, Janez Potocnik, durante el 3º Fórum Internacional sobre Economía - Eficiencia de los recursos, señaló que "es necesario transformar Europa en una economía eficiente en los recursos, aunque solo la eficiencia no es suficiente, también hay que asegurarse de que una vez que hemos utilizado nuestros productos, nuestros

alimentos y nuestros inmuebles, seleccionamos los materiales de estos y los usamos una y otra vez. Existe una fuerte motivación económica y empresarial a favor de la economía circular y la eficiencia de los recursos. De hecho, la Comisión Europea, como órgano colegiado, ha adoptado la eficiencia de los recursos como un pilar central de su estrategia económica estructural Europa 2020” (4).

En esencia el concepto de economía circular implica el aprovechamiento de recursos donde los componentes biológicos y químicos usados en la fabricación de productos están pensados de manera que se integren de vuelta al ciclo económico a través de su reutilización, reparación, regeneración, reciclado o valoración. En este modelo se pretende que el valor de los productos, materiales y recursos se mantengan en el círculo económico durante el mayor tiempo posible, así pues, los residuos y los subproductos obtenidos entran de nuevo en el ciclo de producción como materias primas secundarias. En ese sentido, la economía circular propone un nuevo modelo de sociedad que utiliza y optimiza los stocks y los flujos de materiales, energía y residuos para implementar una economía justa, social, colaborativa y sostenible; que además funciona de forma eficaz en todo tipo de escala.

Diferentes alternativas de uso y comercialización del producto elaborado a partir de los excedentes de yeso reprocesados fueron evaluadas. La materia prima se somete a trituración primaria hasta tamaño de partícula de 2” pulgadas o menos, este se somete a deshidratación entre 130 °C y 150 °C por dos horas, se procede a realizar trituración secundaria hasta pasante malla Tyler N° 80. Este es el producto final con propiedades que le confieren características de yeso hemihidratado.

Se realizan ensayos para determinar humedad contenida, cantidad de agua perdida tras cocción, DTP, densidad, relación agua/yeso, tiempo de fraguado absorción de agua. Una vez comparados los resultados con los datos teóricos se concluye que la sustancia es yeso. Para corroborar la hipótesis se fragua la sustancia obteniendo piezas de yeso con la forma del recipiente contenedor.

La planta no posee equipos necesarios para el procesamiento del material, constituyéndose en una dificultad para alcanzar el objetivo, pero gracias al esfuerzo de los colaboradores de la misma fue posible mitigar y subsanar las restricciones. Los equipos básicos son un molino de martillos para trituración primaria, horno secador que alcance una

temperatura por encima de los 100 °C, molino de martillos para trituración secundaria, mallas para tamizado, equipo de laboratorio para ensayos y moldes.

El trabajo se desarrolló en cuatro etapas, la primera buscó la caracterización del material de desperdicio, en segundo término, se realizó la BÚSQUEDA bibliográfica de alternativas de aprovechamiento, en una tercera se abordó la etapa experimental, incluida la adecuación y transformación de materia prima, para determinar la viabilidad técnica para la recuperación y la cuarta busco determinar la viabilidad jurídica y financiera del procesamiento del yeso recuperado y la producción de nuevos productos.

A las evidentes repercusiones en materia ambiental, se suma la posibilidad de cerrar el ciclo de una sustancia, demostrando la posibilidad de hacerlo, con otras, produciendo artículos con valor agregado con múltiples aplicaciones industriales y soluciones a problemas que requieren del uso de diferentes recursos. (6)

Para Senco Colombiana es una inversión rentable el procesamiento del yeso proveniente de los moldes desechados, se disminuye los residuos generados por la planta, hay reducción en los gastos por disposición de residuos, se agrega valor a una sustancia antes vista como un contaminante, se generan nuevas plazas de empleo, bajan los costos por adquisición de materia primas y se crea una nueva fuente de ingresos para sus inversionistas.

## **OBJETIVOS.**

### **Objetivo General.**

Proponer alternativas para el aprovechamiento de moldura de yeso proveniente de procesos cerámicos y en Senco Colombiana SAS.

### **Objetivos Específicos.**

Estudiar las propiedades físicas y comportamiento de las diferentes sustancias que componen el yeso tratado y su potencial de aprovechamiento.

Determinar los procesos de reintegración productiva de yeso desechados e identificar los mejores e idóneos desde el punto de vista técnico y financiero.

Determinar la viabilidad técnica y financiera de las diferentes alternativas propuestas para el aprovechamiento de los residuos de proceso en Senco Colombiana SAS.

## 1. MARCO TEÓRICO.

El estudio del yeso se remonta al siglo XVIII. En 1768, Antoine-Laurent de Lavoisier presenta el primer estudio científico, ante la Academia de Ciencias, de los fenómenos en los que se basa la preparación del yeso. Luego, en el siglo XIX, Jacobus Henricus Van t'Hoff y Henri-Louis Le Châtelier emitieron una explicación científica a la deshidratación, en base a los fenómenos ocurridos con el yeso. (7)

La piedra de yeso cristaliza con dos moléculas de agua, de forma que constituye un dihidrato. SEGÚN Van t'Hoff, de estas dos moléculas de agua, una molécula y media están combinadas débilmente y media molécula fuertemente. Cien partes en peso de dihidrato contienen 79,07 partes de sulfato de calcio, 15,70 partes de agua débilmente combinada y 5,23 partes de agua fuertemente combinada.

Tabla 1. Composición y propiedades del yeso.

Componente/ Propiedad	Unidades	Fase de yeso		
		Dihidrato	Hemihidrato	Anhidrita
CAS	Nº	10101-41-4	10034-76-1	7778-18-9
SO <sub>3</sub>	%	46,51	55,17	58,82
CaO	%	32,56	38,62	41,18
CaSO <sub>4</sub>	%	79,07	93,79	100
H <sub>2</sub> O	%	20,93	6,21	0
Masa molecular	g/mol	172,168	145,146	136,139
Calor de hidratación	Cal/mol	-	4.100 ± 20 4.600 ± 20	4.030 ± 20 7.210 ± 20
Densidad T <sub>25</sub> °C	g/cm <sup>3</sup>	2,28 - 2,32	2,62	2,78 - 3,95
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	2,31	2,63-2,75	2,58-2,97
Solubilidad T <sub>0</sub> °C	g/L agua	1,76	-	-
Solubilidad T <sub>20</sub> °C	g/L agua	2,05	6,65-8,90	3,0-6,95
Solubilidad T <sub>37</sub> °C	g/L agua	2,12	-	-
Solubilidad T <sub>100</sub> °C	g/L agua	1,62	-	-
Dureza (Mohs)	Und.	2	-	3
Sistema cristalino	-	Monoclínico	Hexagonal	Hexagonal (III) Ortorrómico

Para Rideli, prismas monoclinicos que contienen de 4 a 8 moléculas de agua dan forma a los cristales del sulfato de calcio dihidratado. Mediante la técnica de rayos X, se observa la red cristalina formada por capas de átomos de calcio y grupos tetraédricos de sulfato, separados por láminas o capas de moléculas de agua, las cuales, al ser eliminadas no destruyen la estructura cristalina.

El yeso es un material con resistencia al fuego, no es abrasivo, tiene baja temperatura de calcinación; funciona como agente oxidante, de acabado en construcción y como removedor de espuma. Mejora la estructura o condiciones físicas del suelo. Es comercializado sobre la base de su necesidad de agua, resistencia, color blanco, tiempo de fraguado, y las cualidades estrechamente controladas de expansión y contracción. (8)

El yeso es poco soluble en el agua, aumentando su solubilidad a medida que lo hace la temperatura, desde 0 a 37°C, para disminuir después hasta 100°C. Un litro de agua disuelve 1,76 gramos a 0°C, 2,12 gramos a 37°C y 1,62 gramos a 100°C, Tabla 1. No obstante, el yeso es mucho más soluble en una disolución de cloruro sódico. La piedra de yeso puede diferenciarse de la caliza, con la que a veces se confunde, por no dar efervescencia con los ácidos (3).

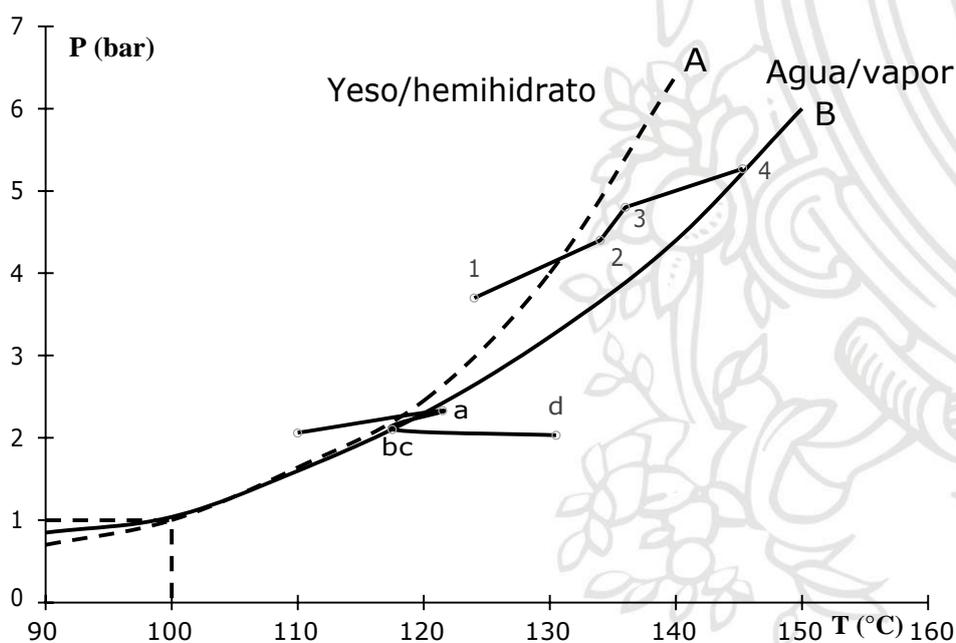


Gráfico 2. Diagrama de equilibrio Presión - Temperatura, agua y yeso (7).

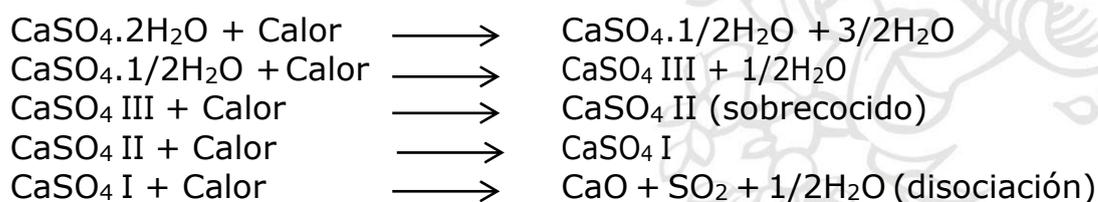
La temperatura a la que tiene lugar la cocción depende, de la velocidad de calentamiento, de la presión externa, de la granulometría del yeso, de su densidad y también de la agitación de la masa, afirma Arredondo en Estudio de Materiales. En fragmentos grandes la transmisión de calor es lenta como consecuencia de la baja conductividad térmica del yeso. Las diferencias de densidad de la piedra de yeso, ejercen una mayor influencia sobre la velocidad de deshidratación. Se requiere mayor energía para acelerar la deshidratación en fragmentos gruesos, incluso en cantidades muy pequeñas y, además, si se encuentra en mayor proporción, perjudica la resistencia del producto fraguado (en la práctica basta una temperatura de 160°C).

Considerando el diagrama de equilibrio "Presión - Temperatura", Gráfico 2, relativo al agua y al yeso, a partir de los datos termodinámicos de Kelly, Southard y Anderson y a partir de los experimentos de Van t'Hoff, se prueba que la curva de equilibrio yeso - hemihidrato (curva A) está muy próxima a la curva de equilibrio agua líquida - agua vapor (curva B) y que estas dos curvas se cruzan a 100°C (7).

Dependiendo de la temperatura de cocción, el sulfato de calcio puede estar en forma de anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ), hemihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) o dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), como se observa en el Gráfico 3. El sulfato de calcio hemihidratado se obtiene por deshidratación parcial del sulfato cálcico dihidratado. Si esta deshidratación es total se obtiene la anhidrita soluble (III) y la anhidrita insoluble (II).

Desde un punto de vista fisicoquímico se puede considerar que el yeso, como  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , constituye un sistema caracterizado por cinco fases sólidas, cuatro de ellas estables a temperatura ambiente.

Las reacciones endotérmicas que rigen estas fases son las siguientes (7):



El yeso hemihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) se puede clasificar en dos tipos o formas alotrópicas, alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ), SEGÚN haya sido la forma de cocción del yeso. El primero es un mineral cristalino transparente, forma piezas altamente resistentes y con baja absorción de agua dado la baja porosidad y por ende poca capilaridad, el tipo beta se caracteriza por ser un grano redondo, oscuro y estriado. El hemihidrato  $\alpha$  es más compacto que el  $\beta$ , al microscopio tiene aspecto sedoso y brillante con multitud de cristales muy finos aciculares entrelazados (granos transparentes, birrefringentes), teniendo mayores resistencias mecánicas. El hemihidrato  $\beta$  es esponjoso, no se reconocen los caracteres cristalinos, sino que serán más bien granos redondeados, oscuros y estriados, tiene mayor contenido energético, es más soluble y por lo tanto tiene menor estabilidad. El hemihidrato  $\alpha$  presenta mejores propiedades de resistencia en tanto que el hemihidrato  $\beta$  presenta mayor porosidad aumentando su capacidad de absorción. (8)

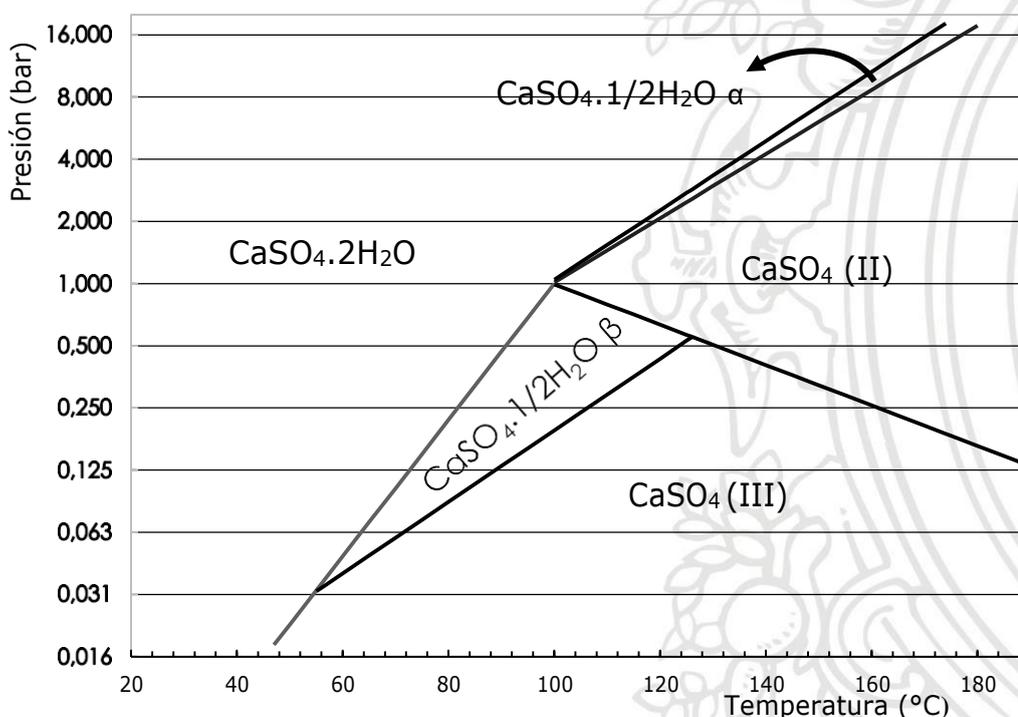
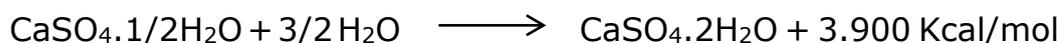


Gráfico 3. Diagrama de fases del sulfato de calcio en función de la presión y de la temperatura [22].

Para la formación del hemihidrato  $\alpha$  es necesaria una atmósfera, dentro del horno, saturada en vapor de agua o próxima a la saturación, por este motivo, cuando se fabrica el hemihidrato  $\beta$  en calderas siempre se produce algo de hemihidrato  $\alpha$ , puesto que en las calderas existe vapor de agua en mayor o menor cantidad.

La rehidratación del hemihidrato hasta yeso es una reacción exotérmica.



El reciclaje del yeso es posible realizarse bajo diferentes tecnologías, en función del uso que se quiera dar al producto final, su origen y el tipo de industria. Se destacan la deshidratación en bases seca y húmeda.

Mediante la deshidratación en base seca se obtienen hemihidratos tipo beta ( $\beta$ ), o bien a la Anhidrita II (All) (o sobrecocido), generalmente se mediante el calentamiento de yeso al momento de la trituración en hornos rotatorios SEGÚN la temperatura sea del orden de los 150 °C o superior a 350°C (Tabla 2 y Gráfico 4). En todos los casos, cualquiera que sea el tipo de equipamiento, la cocción se efectúa a presión atmosférica o con una suave presión parcial de vapor de agua. Este método de cocción, es el más utilizado por la mayor parte de los dispositivos, para producir los yesos de construcción, moldeo o de prefabricación. (7)

Tabla 2. Sulfato calcio en sus fases hidratadas y deshidratadas.

Fase	Formula Fase	Temperatura de deshidratación (°C)
Sulfato de calcio dihidratado (mineral de yeso)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Hasta 90
Sulfato de calcio hemihidratado (alfa o beta)	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	120 -150
Anhidrita III (a partir hemihidrato alfa o beta)	$\text{CaSO}_4$ (III)	290 - 350
Anhidrita II	$\text{CaSO}_4$ (II)	
Anhidrita I*	$\text{CaSO}_4$ (I)	1.180

\*La Anhidrita (I), que se obtiene por encima de 1.180°C, es muy inestable e insoluble a temperatura ambiente ya que al enfriarse se transforma en anhidrita II y III.

El calentamiento por contacto directo desde el fluido portador provoca contaminación en el producto, por lo que no es recomendable cuando se requiere un yeso de buen desempeño. De igual forma este sistema requiere la utilización de filtros de purificación de gases de mayor complejidad a la salida del sistema, cuando el fluido portador no hace

contacto con el yeso disminuyendo los sólidos de arrastre. Es recomendado el ingreso en contracorriente del yeso y el fluido de calentamiento ya que mejora la transferencia efectiva de calor hacia el primero. (7)

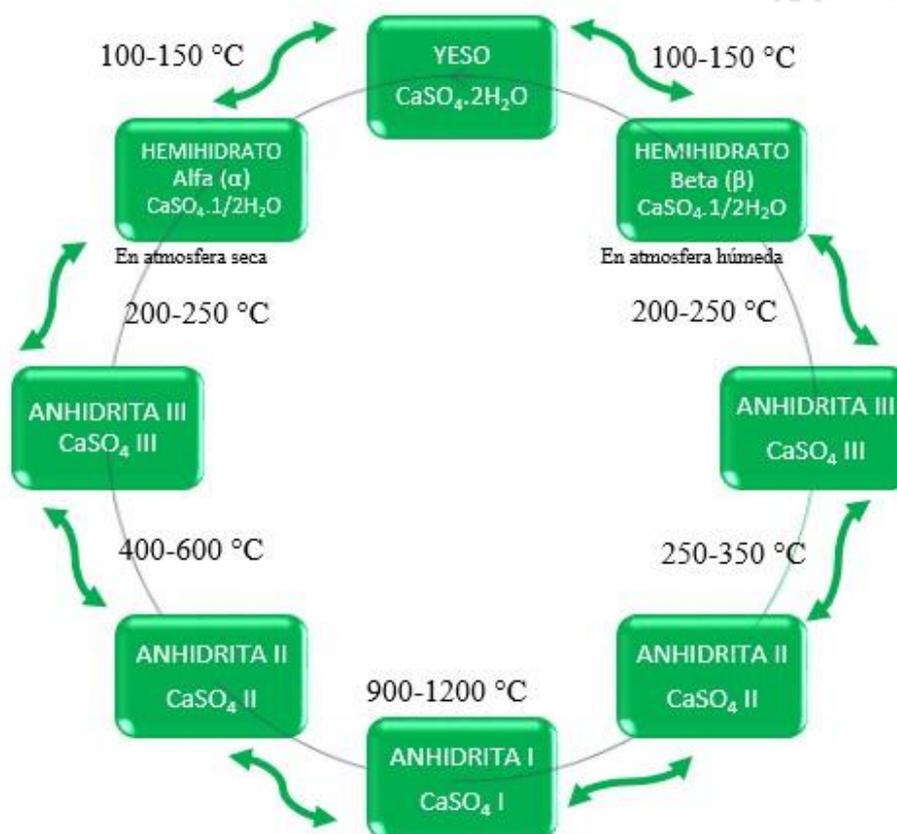


Gráfico 4. Ciclo de fases del sistema yeso.

La deshidratación en base HÚMEDA permite la obtención de hemihidratos tipo alfa ( $\alpha$ ), existen diversas tecnologías para el proceso. Algunas propiedades de estas fases pueden encontrarse en la Tabla 3. Se efectúa a presión de vapor de agua saturado en autoclaves, o a presión atmosférica, pero con soluciones salinas con punto de ebullición superior a 100°C. Someter piezas de yeso con tamaño entre 40 - 50 mm a presión de vapor de agua de 2 - 7 bares en un autoclave vertical u horizontal, el sistema es sometido a una corriente de aire caliente y seco. La adición de deshidratantes, soluciones acidas o acuosas, consiste en someter a presión atmosférica y a temperatura de 115 - 120 °C, yeso dihidratado a un ambiente HÚMEDO en presencia de una sustancia deshidratante que puede ser hidróxido, óxido o una sal. (7)

El hemihidrato  $\alpha$ , es la base de los yesos especiales para moldeado (sector dental, matrices cerámicas, modelado de precisión, etc.). Estos sistemas se pueden utilizar también, en el tratamiento de los yesos sintéticos resultantes de la fabricación de ácido fosfórico y ácido láctico.

Tabla 3. Propiedades físicas de los hemihidratos alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ). (8)

Propiedad	Unidades	Yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	
		Alfa ( $\alpha$ )	Beta ( $\beta$ )
Peso específico	$\text{g/cm}^3$	2,757	2,637
Calor específico medio	Kcal/g	0,227	0,254
Solubilidad en agua $T_{20^\circ\text{C}}$	g/L	6,65	8,90
		7,11	9,52
Calor de hidratación	Kcal/Kg	23,81	26,72
	Cal/mol	$4.100 \pm 20$	$4.600 \pm 20$
Consistencia normal	$\text{cm}^3$ agua/100 g yeso	35	90
Fraguado	min	15-20	25-35
Expansión	mm/m	0,0028	0,0016
Resistencia a la tracción en seco	$\text{Kg/cm}^2$	66	13
Resistencia a la compresión en seco	$\text{Kg/cm}^2$	560	76

La adición de deshidratantes, o acuosas, consiste en someter a presión atmosférica y a temperatura de yeso dihidratado a un ambiente húmedo en presencia de una sustancia deshidratante que puede ser hidróxido, óxido o una sal. (7)

La adición de cal viva, en presencia o no de agua, a yeso molido permite la deshidratación de la cal, se da la producción de un aglomerante, manifestándose la mezcla por el incremento de temperatura del sistema, producto del paso del agua presente en el yeso en el proceso de apagado de la cal. La separación de las sustancias producida presenta grandes dificultades e incremento en los costos, la mezcla puede ser utilizada en la producción de estucos y resanes en la construcción. (9)

Existen otros procesos como la aridización (aridizing), consistente en la adición de una solución de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) al 0.1 - 0.2 % a la cocción de yeso, y otros patentados por diferentes empresas yesíferas.

En la industria cerámica se utiliza hemihidrato  $\beta$  para la elaboración de moldes debido a su gran capilaridad y elevado tamaño de poro, actúa como elemento succionador del agua de la pasta, de modo que se produce la formación de pared cerámica en la cara interna del molde. El hemihidrato  $\beta$  formará mayor espesor de pared y de forma mucho más rápida que el hemihidrato  $\alpha$ , este último se utiliza para fabricar piezas que requieran buena resistencia en industrias como la dental. (10)



## 2. METODOLOGÍA.

La toma de decisiones al nivel empresarial empresa privada implica sopesar diferentes variables, tales como: viabilidad técnica, viabilidad tecnológica, viabilidad jurídica, viabilidad financiera, mercado, disponibilidad de materia prima e insumos, personal capacitado disponible para la labor, consumo de recursos o servicios PÚBLICOS. Definir con la mayor precisión la factibilidad para implementar la producción y comercialización de un producto es el propósito que pretende en este documento.

El desarrollo de la presente propuesta tomo como fundamento la teoría de economía circular donde se busca el máximo aprovechamiento de los recursos para disminuir los impactos sobre el ambiente y los ecosistemas. La disminución de las emisiones de sustancias tóxicas y aquellas que por su naturaleza no son propias del entorno donde se disponen, minimiza el impacto ambiental y traducen un gasto en una fuente de ingresos.

Con el propósito de realizar la evaluación para la toma de las determinaciones adecuadas para el aprovechamiento de las molduras de yeso se surtieron diferentes etapas, para el acondicionamiento de los materiales, su transformación y la evaluación de la viabilidad técnica y económica previo a la definición sobre la pertinencia de adelantar o no un proceso de aprovechamiento. Se surtieron cuatro etapas, así: Caracterización de la materia prima disponible, BÚSQUEDA bibliográfica para establecer usos alternativos, adecuación y transformación de materia prima y su evaluación técnica y estudios de viabilidad jurídica y financiera.

### **2.1. Etapa 1. Caracterización de la materia prima disponible.**

Para iniciar la intervención sobre el material se realizó una caracterización básica de las propiedades del yeso de moldes a tratar tomando tres muestras de un (1) kilogramo cada una. Se determinó el promedio de contenido de humedad, absorción de agua, densidad y capacidad de filtración. Los resultados son útiles para determinar el estado del material, el paso a seguir y los recursos necesarios para la transformación.

Una vez conocidas las generalidades se tomaron 8 kilogramos de moldes, se realizó la trituration primaria hasta alcanzar fragmentos con tamaño hasta 2 pulgadas (5,6 cm). En una bandeja se depositaron dos kilogramos (2 kg) de yeso recuperado, se ingresaron a un horno de calentamiento fijo (mufla), una vez alcanzada la temperatura buscada se permitió la cocción durante el tiempo predeterminado. Una vez cumplidos estos parámetros se dejó enfriar la muestra y se llevó a cabo la trituration secundaria y se continuó utilizando el yeso pasante malla N° 80. El material obtenido se le evalúa la capacidad de fraguado y por extensión la posibilidad de la existencia en la muestra de hemihidrato

Para determinar si el producto es yeso hemihidratado, se evalúa la capacidad de fraguado consistente en mezclar una muestra de material cocido con agua donde se debe manifestar un incremento en la temperatura del sistema, el paso de una consistencia grumosa hasta el endurecimiento del producto.

## **2.2. Etapa 2. BÚSQUEDA bibliográfica para establecer usos alternativos.**

Se estudiaron las diferentes posibilidades documentadas para la recuperación de yeso posterior a su uso, encontrando potencial en diferentes áreas, fertilizante agrícola, corrector del pH y fijador del calcio en los suelos, revestimientos, masillas, estucos y enlucidos en el sector de la construcción, placas para construcción, moldes cerámicos y molduras prefabricadas.

En atención a los recursos disponibles, aquellos que se pudieran allegar, y la utilidad del producto obtenido se determinó trabajar con el propósito de obtener hemihidrato  $\alpha$ , esto implica la deshidratación en fase seca.

## **2.3. Etapa 3. Adecuación de materia prima y evaluación técnica**

Del universo de moldes de yeso depositados en la zona de almacenamiento, para la fecha de recuperación se estima en 50 toneladas allí dispuestas, se tomó una muestra sometida a cuarteo de 40 kilogramos. Para determinar las condiciones descritas fue necesario hacer trituration primaria obteniendo fragmentos de tamaño no superior a 2 pulgadas.

El material restante fue sometido al proceso de secado o cocción a diferentes temperaturas desde 75 hasta 240 °C. Posteriormente cada muestra se sometió a trituración secundaria hasta obtener tamaños de partícula pasante malla Tyler N° 80. Para continuar el procedimiento con cada muestra, se realizó pruebas de fraguado como método para determinar la presencia de hemihidrato, solo se continuaron los análisis con aquellas muestras que fraguaron.

Al sólido resultante se le realizaron pruebas de densidad, DTP, relación agua/yeso, tiempo de fraguado, absorción de agua. Los resultados obtenidos permiten determinar que el contenido de hemihidrato en las muestras resulta satisfactorio.

El uso del producto obtenido es uno de los validadores más significativos del proceso, se estudió la producción de estucos, placas de yeso, molduras y moldes para piezas pequeñas. Para ello se modificaron diferentes variables como: cantidad de yeso recuperado, relación agua/yeso, cantidad de aditivos agregados.

Teniendo como propósito la producción de yeso hemihidratado tipo  $\beta$  se procedió a acondicionar y tratar el material de forma tal que permitiera adecuada manipulación y facilidad en la cocción.

#### **2.4. Etapa 4: Estudios de viabilidad jurídica y financiera.**

Por último, se realizó la recuperación normativa y legal que repercuten sobre el tipo de transformación y su impacto sobre el medio ambiente y los ecosistemas, además del estudio sobre el mercado del estuco y las placas de yeso en el mercado nacional, a manera de análisis de prefactibilidad, partiendo del proceso de producción de hemihidrato a partir de yeso de moldura con sus inversiones, costos y gastos, así mismo, los procesos de administración, ventas y mercadeo.

La determinación de la viabilidad financiera requirió el estudio del mercado en los sectores de la construcción, donde se encuentra enmarcado el consumo de estuco y placas de yeso, para ello se evaluó la información disponible en el SIREM (base de datos financiera de la superintendencia de industria y comercio), información suministrada por

las organizaciones productoras y comercializadoras, proyecciones económicas Bancolombia, datos disponibles del departamento nacional de planeación, comité del sector cerámico de la ANDI, Procolombia, la dirección de comercio exterior del ministerio comercio y cotización de equipos en empresas reconocidas.

Se evaluaron los indicadores de tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN) y punto de equilibrio, de igual forma se dispone de información respecto del flujo de caja libre y capital de trabajo neto operativo para un periodo de 10 años.



### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

El modelo de economía circular indica que, en los procesos de producción los rechazos de materias primas, subproductos, producto no conforme, y excedentes, son susceptibles de ser recuperados y continuar dentro de la cadena de valor, visto de otra forma, es posible dar una nueva "vida" a muchos de los productos, sustancias y artículos que hoy son desechados y terminan convirtiéndose en potenciales contaminantes.

La vida útil de un material o producto no está, rigurosamente limitada a la convencionalmente considerada, es posible encontrar usos nuevos y valiosos para muchas de estas. En aras de reconciliarse con las condiciones propicias para la vida en el planeta, es menester hallar alternativas de uso de los materiales.

Gran parte de los desechos que se depositan en rellenos sanitarios no deberían correr con este destino. La explotación de materias primas requiere de considerables inversiones y subutilizar aquellas es un acto de irresponsabilidad e incompatible con los principios de conservación de los ecosistemas y sobre explotación de los recursos naturales.

La industria cerámica genera cantidades considerables de excedentes los que, generalmente, se convierten en desechos depositados en sitios acondicionados para su tratamiento. Además de incrementar los costos de producción por la adquisición de materias primas en excedente que compensen las pérdidas, se generan gastos por manejo interno, transporte y pago por disposición.

El yeso por ser una sal hidratada tiene la propiedad de ceder y recuperar el agua de cristalización o ligante, para ello se deben dar condiciones adecuadas, como ya se describió. La planta de producción de Senco Colombiana presenta procesos donde es posible reutilizar el yeso de moldeo recuperado, mezclado con yeso nuevo en elaboración de moldes, fabricación de moldes de baja resistencia utilizados para formación de accesorios, producción de molduras y decorativos, obtención de estucos y enlucidos, agregado en preparación de pasta y manufactura de fertilizantes o acondicionadores de suelo.

La toma de decisiones adecuadas en el sector industrial está estrechamente relacionada con el retorno de la inversión o ganancias que puedan percibir los inversionistas. Este documento busca dar luces respecto de la viabilidad financiera que representa adelantar la recuperación del yeso proveniente de los procesos de producción de Senco Colombiana y por ende de la posibilidad técnica de adelantar labores para materializar la propuesta. La planta dispone de 30 toneladas mensuales de moldes de yeso que dispone en un relleno avalado para su recepción.

En busca de encontrar la mejor alternativa para el aprovechamiento del yeso de moldeo cerámico utilizado en los procesos de vaciado y torneado se realizaron diferentes pruebas con el objetivo de encontrar las condiciones óptimas del proceso.

### **3.1. Análisis legal y jurídico.**

La presión sobre el medio ambiente y los ecosistemas por la disposición de residuos que por su potencial pueden ser reutilizados puede ser disminuida empleando los preceptos de la economía circular. A pesar que la normativa no obliga a la búsqueda de alternativas de disposición, limitándose en dictar directrices en materia del adecuado transporte y disposición de los residuos, es necesario conocer, acatar y no perder de vista el acervo normativo ambiental.

En materia legal la disposición de residuos sólidos no tiene una reglamentación que la prohíba, por lo contrario, las normas permiten, buscan e incentivan que se dé la recuperación de toda clase de residuos que potencialmente contaminen los recursos naturales.

Las corporaciones autónomas regionales tienen como misión la inspección, vigilancia y control ambiental, también sobre ellas recae el poder sancionatorio respecto de la contaminación de estos recursos y estas a su vez aplican la normativa vigente que tanto el legislativo, el ejecutivo y las instituciones del orden nacional, regional y emiten en favor de la protección de los recursos dictan pues a quienes habrá que rendirle cuentas de lo actuado en materia de protección de recursos y de disposición de residuos sólidos, líquidos y gaseoso.

Una recopilación de la normativa nacional, regional y local con enfoque en la disposición de residuos sólidos, y de soslayo los líquidos y gaseosos, se enuncia en el anexo 6.4. estas normas recopiladas inicialmente por el Área Metropolitana del Valle del Aburra y adicionadas con material que con posterioridad ha surgido o que no fue tenida en consideración por aquella, dado la especificidad del tipo de recursos a que hace relación el material dispuesto por Senco Colombiana.

Luego del análisis crítico de las normas, en relación con los procesos intervenidos, se puede indicar que el proceso que se lleva a cabo con la recuperación de yeso procedente de molduras para producción de hemihidrato cumple con toda la normativa por lo tanto tiene habilidad jurídica y legal.

### 3.2. Estudio de las molduras de yeso.

Como medida inicial se caracterizó el yeso proveniente del depósito de rechazo en sus variables más simples, densidad, % humedad, absorción de agua, contenido de materia orgánica (Tabla 4) y DTP (Tabla 5), tratándose de un yeso contaminado por material cerámico arrastrado hasta sus poros por el agua en el proceso de secado, además de restos de pasta cerámica en su contorno.

Tabla 4. Propiedades del yeso de moldura.

Propiedad	Unidades	Dihidrato
Humedad	%	23,18
Densidad T <sub>25</sub> °C	g/cm <sup>3</sup>	2,28 - 2,32
Absorción	%	34
Materia Orgánica	%	3,4

Como era de esperarse, las medidas no se ajustan a las teóricas por ser un material sometido al trabajo de formación de piezas cerámicas y haberse envejecido perdiendo sus propiedades iniciales, circunstancia por la que fue “desechado” como molde.

Se tomaron muestras aleatorias y se sometieron a calentamiento a diferentes temperaturas para determinar la pérdida de peso, que dada las condiciones del material se trata de agua de humectación y de

cristalización cuando la temperatura de cocción es adecuada. Para determinar si el producto es yeso hemihidratado, se evalúa la capacidad de fraguado consistente en mezclar una muestra de material cocido con agua donde se debe manifestar un incremento en la temperatura del sistema, el paso de una consistencia grumosa hasta el endurecimiento del producto.

Tabla 5. Distribución de tamaño de partícula de yeso de moldura recuperada.

Malla Tyler	Abertura (mm)	Masa (g)	
		Dihidrato	Hemihidrato
12	1,700	23,52	46,15
20	0,841		74,18
30	0,600	27,18	93,75
60	0,250		50,43
80	0,180	35,02	6,84
100	0,150		7,37
140	0,106	9,15	
170	0,090	1,88	12,19
200	0,750	0,48	3,05
270	0,053	0,34	0,19
325	0,045	0,09	0,0
400	0,038	0,05	
Pasante 400		0,0	
Total		97,71	294,15

Teniendo como propósito la producción de yeso hemihidratado tipo  $\beta$  se procedió a acondicionar y tratar el material de forma tal que permitiera adecuada manipulación y facilidad en la cocción.

Aleatoriamente se tomaron moldes provenientes del depósito de almacenamiento, antes de disposición final, se realizó la trituration primaria hasta alcanzar fragmentos con tamaño hasta 2 pulgadas (5,6 cm).

En una bandeja se depositaron dos kilogramos (2 kg) de yeso recuperado, se ingresaron a un horno de calentamiento fijo (mufla), una vez alcanzada la temperatura buscada se permitió la cocción durante el tiempo predeterminado. Una vez cumplidos estos parámetros se dejó enfriar la muestra y se llevó a cabo la trituration secundaria y se continuó

utilizando el yeso pasante malla N° 80. El material obtenido se le evalúa la capacidad de fraguado y por extensión la posibilidad de la existencia en la muestra de hemihidrato.

Tabla 6. Temperaturas de cocción de yeso y observaciones tras ser sometido a fraguado.

T (°C)	Disminución de peso (%)	Fraguado	Observaciones al agregar agua
75	7,45	No	Colada, no endurece
78	7,61	No	Colada, no endurece
94	8,64	No	Forma sólido muy frágil
100	13,46	No	Forma sólido frágil
110	16,32	No	Forma sólido frágil
120	16,35	Si	Forma sólido, bajadureza
125	17,10	Si	Forma sólido, bajadureza
130	16,92	Si	Forma pieza, después de dos días es frágil
135	19,36	Si	Forma pieza, después de dos días es frágil
140	18,14	Si	Formación de pieza
145	18,93	Si	Formación de pieza
150	19,16	Si	Forma pieza, buena apariencia
160	21,40	No	Forma pieza, fracciona al desmoldar
170	21,73	No	Forma pieza, fracciona al desmoldar
180	21,65	No	Presenta espesamiento
240	20,32	No	Presenta espesamiento, no seca

La pérdida de agua es lenta y baja cantidad hasta alcanzar los 110 °C, en este punto se ha evaporado el agua de humectación, el aumento en la temperatura permite que parte del agua de cristalización sea retirada hasta los 150 °C, a partir de allí se evidencia disminución lenta en la pérdida de agua hasta un máximo de 350 °C donde no se encuentra más agua y se obtiene anhídrita. Ver Tabla 6.

El peso perdido por las muestras se debe exclusivamente a agua de humectación y cristalización dado que las condiciones del proceso, tanto de producción cerámica como de cocción, no permite la presencia de sustancias con temperaturas de evaporación o descomposición menores a los 350 °C, como se evidencia la calcinar una muestra de pasta cerámica, la cual solo perdió masa al alcanzar los 750 °C debido a la calcinación de la materia orgánica presente en la muestra.

Adicionalmente se realizó la deshidratación por diferentes periodos de tiempo para determinar la duración del proceso, es importante este factor para disminuir las pérdidas de energía, además, estimar costos de operación.

Para comprobar la presencia de hemihidrato en el producto, se tomaron muestras y se sometieron al proceso de fraguado, mezcla de agua y yeso, evidenciando incremento en la temperatura y formación de espécimen sólido compacto característico del yeso dihidratado fraguado desde su fase hemihidratada.

Demostrada la posibilidad de obtener hemihidrato se buscó caracterizar el mismo en base a una serie de análisis fisicoquímicos que permiten comparar lo hallado con los datos teóricos. Densidad, DTP, porosidad, absorción de agua, relación agua/yeso, tiempo de fraguado fueron evaluados para las muestras de hemihidrato recuperado estudiadas.

Tabla 7. Relación agua yeso (A/Y) en fraguado.

Relación agua yeso A/Y (%)	Observaciones al agregar agua
55	No permite el mezclado
60	Fraguado inmediato
66.67	Fraguado rápido
70	Buen desempeño
75	No hay fraguado
80	No hay fraguado

La relación agua yeso (A/Y), debe ser controlada, de esta depende si el fraguado se da, el tiempo que tarda en darse y la resistencia del material. Se evaluaron diferentes relaciones A/Y desde 50% hasta 80% en peso, ver tabla 7. El tiempo de fraguado es adecuado entre el 65% al 70% de la relación A/Y, por arriba del 70% no se da el fraguado, la muestra presenta agua sobrenadante. Cuanto mayor es la cantidad de agua agregada respecto del yeso, la resistencia del material disminuye, haciéndose quebradizo y deforma con facilidad. En cuanto a la fluidez siendo la relación A/Y igual a 70% se evidencia un mejor desempeño.

El fraguado se dio a velocidades superiores a las requeridas para surtir la etapa de moldeado, ver Gráfico 5. Para aumentar el tiempo de fraguado y facilitar la manipulación de la mezcla y permitir la realización del vaciado en el molde se utilizó ácido cítrico en una concentración del 1% w/w en relación al agua. La trabajabilidad del material aumento ostensiblemente, así como el tiempo de fraguado permitió hacer el moldeo del yeso.



Gráfico 5. Seguimiento al fraguado de hemihidrato recuperado.

En materia de usos potenciales del yeso recuperado se analizaron diferentes alternativas; estucos, elaboración de placas de yeso, fabricación de moldes y elaboración de molduras.

### 3.2.1. Recuperación de molduras de yeso y producción de hemihidrato $\beta$ .

La producción de hemihidrato  $\beta$  a partir de moldura de yeso, se propone siguiendo una serie de etapas que garanticen el aprovechamiento de la totalidad del yeso disponible bajo unas condiciones óptimas para su uso posterior.

En primer lugar, se debe acondicionar un sitio cubierto donde se evite el ingreso de agua, el exceso de esta incrementa la energía necesaria para

la deshidratación, además debe estar aislado para disminuir el polvo u otros agentes contaminantes que puedan agregarse al yeso.

Los moldes depositados deben estar libres de barbotina o mezclas cerámicas, para ello es necesario hacer un lavado o limpieza de la parte exterior de los mismos.

Para evitar la contaminación de los moldes es necesario reemplazar las estructuras metálicas con que son fabricados los moldes por unas que resistan la corrosión del yeso, están pueden ser en acero inoxidable, aluminio, plástico u otro que no sea atacado por la humedad del yeso. El cambio, además, puede garantizar mayor durabilidad de las estructuras por lo que la inversión necesaria se recupera en el corto plazo.

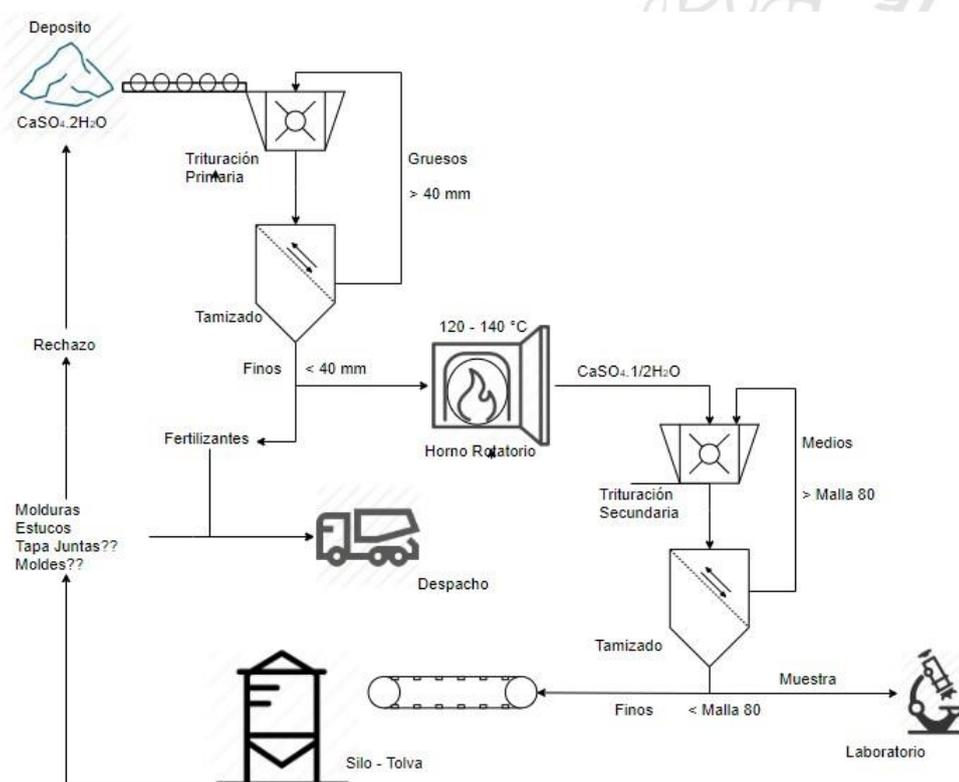


Gráfico 6. Distribución de proceso de recuperación de yeso de moldura.

Los moldes se deben acondicionar retirando los elementos estructurales y accesorios que puedan causar daños en el proceso de molienda, esto indica la reducción hasta fragmento de tamaños máximos de 30

centímetros (12 pulgadas). Un rotomartillo es una herramienta ideal para esta actividad.

La planta dispone de 30 toneladas de yeso ingresadas cada 25 días, con las cuales se producen alrededor de 45 toneladas de moldes de yeso en el mismo periodo, esto es, 1,8 toneladas por día de producto a procesar. Para efectuar la trituration primaria es necesario disponer de un molido de martillos o de contacto con capacidad no inferior a 200 kilogramos por hora, previendo paros por mantenimiento, disponibilidad, del personal, atascamientos, disponibilidad de producto en condiciones requeridas, cualquier imprevisto que pueda acontecer. El proceso de trituration se debe ubicar de modo que no contamine el proceso cerámico.

Una vista esquemática del proceso para la cocción o deshidratación de yeso se muestra en el Gráfico 6, en el se describen las etapas de la transformación en la secuencia lógica.

El corazón del proceso es el horno, donde el yeso alcanza la temperatura cede del agua de hidratación pasando de dihidrato a semihidrato, el molino rotatorio (Gráfico 7) es el más utilizado dado que el movimiento del yeso garantiza la distribución del calor en todas las partículas y con ello la cocción es homogénea.

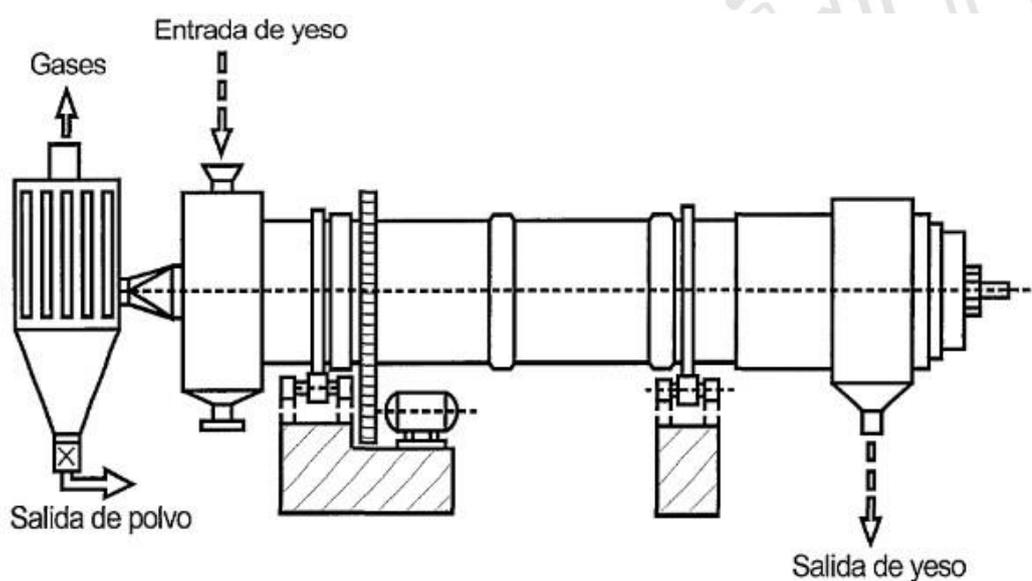


Gráfico 7. Vista esquemática horno rotatorio contracorriente.

La calidad del producto se debe monitorear con cada lote producido por lo que se hace necesario el acondicionamiento de un laboratorio para la realización de las pruebas mecánicas. Se requiere un aparato de Vicat, moldes, equipo para estimar flexotracción, deformación, compresión y esfuerzo, termohigrómetro, balanzas y vidriería.

Las condiciones de fraguado del hemihidrato recuperado muestran que el proceso se da con mayor rapidez que aquel con yeso nuevo, la literatura sugiere agregar una sustancia para disminuir la velocidad, permitiendo el vaciado de la mezcla en los moldes. Se tienen diferentes tipos de sustancias que teóricamente han probado su eficacia en el retardo del fraguado, un recuento de ellas se puede observar en el anexo 6.3.

Dadas las características del material recuperado, de los usos factibles en Senco Colombiana y las disponibilidad y costos se determinó el uso de ácido cítrico como retardante de fraguado. El uso está restringido a bajas concentraciones, del orden de los 1,6 – 2,0 gramos por litro en disolución con el agua fraguado e hidratación.

El uso de los retardantes induce disminución en la resistencia a la tracción y el esfuerzo del material, tal situación fue corroborada a escala laboratorio, así como en pruebas con moldes para vaciado.

### **3.2.2. Perfectibilidad financiera recuperación de molduras de yeso.**

El proceso de recuperación de hemihidrato a partir de molduras de yeso requiere de inversión en maquinaria, equipo e infraestructura que permita unos mínimos logísticos, en la Tabla 8 se describen los indispensables. La inversión requerida asciende a los \$ 368.200.000.

En la Tabla 9 se hace un recuento de las estimaciones financieras supuestas para un periodo de 10 años, solo se relacionan los egresos en el entendido que, el proceso de recuperación de yeso proveniente de molduras cerámicas no necesariamente implica la venta del producto recuperado y la decisión sobre la destinación del mismo obedece al estudio de las diferentes alternativas.

Con la ayuda de 8 operarios y 1 administrativo se pueden procesar las 540 toneladas de yeso hemihidratado que la planta deshecha al año. El valor de aproximado de recuperación por kilogramo es de \$ 889.

Tabla 8. Presupuesto de inversiones recuperación de molduras de yeso.

Activos	Valor Total (\$)
Espacio cubierto recepción	25.000.000
Molino trituración primaria	30.000.000
Horno rotatorio	50.000.000
Equipo de laboratorio	12.000.000
Molino secundario	35.000.000
Banda transportadora	80.000.000
Silo	40.000.000
Rotomartillo	1.200.000
Bodega Almacenamiento	75.000.000
Tamices vibratorios	10.000.000
Balanzas	2.000.000
Seguridad industrial	2.000.000
Equipo de oficina	6.000.000
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>368.200.000</b>

Tabla 9. Egresos presupuestados para recuperación de yeso por cocción.

Año	Egresos (\$)
Inversión Inicial	368.200.000
2020	413.661.085
2021	433.588.348
2022	453.809.803
2023	472.246.296
2024	492.880.419
2025	513.597.862
2026	534.164.685
2027	554.579.381
2028	574.736.918
2029	595.761.060

Las estimaciones fueron elaboradas en base a los datos estadísticos que la superintendencia de industria y comercio revela en el Sirem respecto de los estados financieros de las empresas del sector de producción de bienes para la construcción. Las proyecciones de la inflación son las reveladas por Bancolombia.

### 3.3. Estucos y revestimientos.

Los acabados de construcción requieren características que le permita superficies lisas, adherencia de las pinturas o esmaltes, impermeabilización y de fácil limpieza. Se han desarrollado diferentes productos para lograr estos objetivos, pero son los estucos los que mayor acogida presentan por cumplir con aquellos requerimientos y su bajo costo. Este grupo de productos encuentra clasificado dentro de la cadena de Pinturas, Masillas, Pigmentos, Tintas y Removedores.

Tabla 10. Formulaciones para la fabricación de estuco a partir de hemihidrato recuperado.

Ensayo	Componente (%)					Observaciones (Gráfico 8)
	Yeso	Caolín	Cemento	Cal	PET	
1	47,0	47,0	6,0			Buena textura
2	45,0	50,0	5,0			Grumoso
3	55,0	40,0	5,0			Para aplicación rápida
4	60,0	30,0	10,0			Cuarteo
5	30,0	60,0	10,0			Cuarteo, fracturas
6	42,3	42,3	5,4	10,0		Textura adecuada
7	46,4	46,4	6,0		1,2	Buena textura
8	50,0	50,0				Cuarteo
9	50,0			50,0		Cuarteo
10	60,0	40,0				Cuarteo, fracturas

Diferentes relaciones de mezcla fueron utilizadas para la elaboración de estucos, encontrando un buen desempeño cuando la relación yeso caolín es igual o muy cercana y no se presenta adición de cal, en las demás pruebas el resultado no fue el esperado.

Cando las relaciones yeso caolín son cercanas a 1 o ligeramente inferiores, o sea cuando la cantidad de yeso es igual o un poco menor a la de caolín, siempre con bajos contenidos de cemento, se obtiene una mezcla con buena adherencia, resultando útil para su utilización. La adición de PET finamente triturado no desmejora las condiciones de la mezcla, para su utilización se deben hacer pruebas más rigurosas. El uso de cal resultó contraproducente. La Tabla 10 y el Grafico 8 muestran lo observado tras la aplicación de la mezcla.

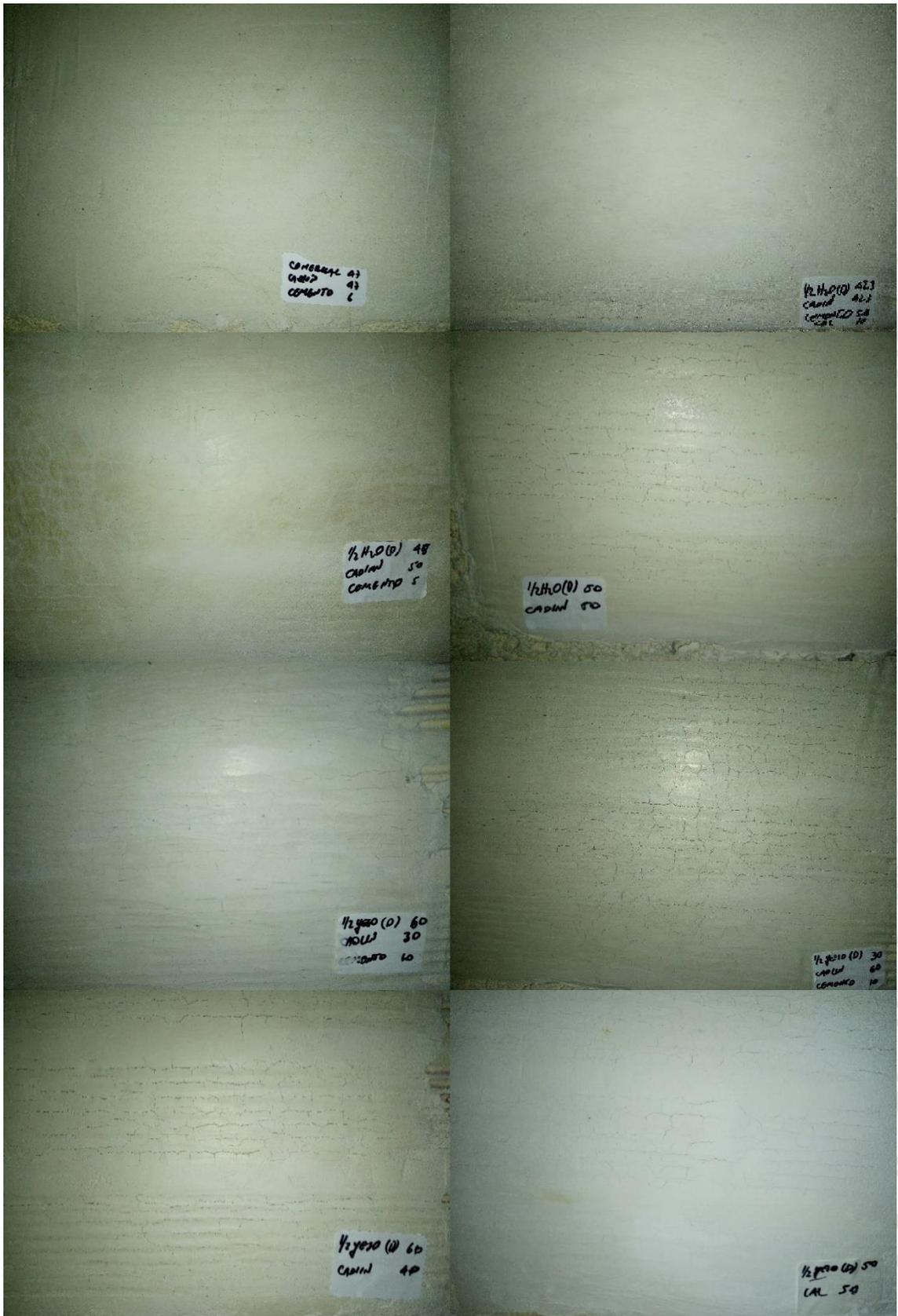


Gráfico 8. Ensayos con diferentes formulaciones de estucos a partir de hemihidrato recuperado.

### 3.3.1. Mercado de los estucos y revestimientos.

El presente recuento fue editado con información tomada desde el estudio realizado por el departamento nacional de planeación por intermedio de la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) para la cadena Pinturas, Masillas, Pigmentos, Tintas y Removedores (11).

De acuerdo con la información reportada en la durante el período 2001 – 2014, el valor de producción pasó de \$0,99 billones a \$1,6 billones con un valor promedio de \$1,3 billones lo que implica una tasa de crecimiento promedio anual de 3,5% y una participación promedio de 0,8% del total de la producción manufacturera en Colombia. Entre el 2002 y el 2007 el valor de producción de la cadena mostró un rápido crecimiento (7,8%) y entre 2008 y 2014 reportó un comportamiento estable con una tasa de crecimiento promedio de 0,3% (Gráfico 9).

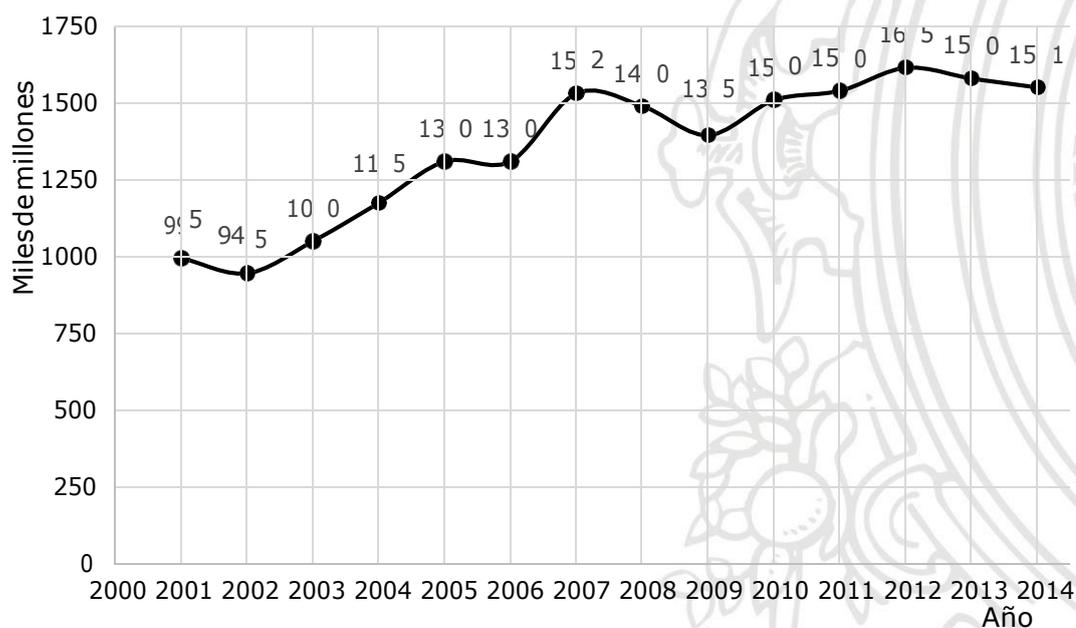


Gráfico 9. Producción de la cadena Pinturas, Masillas, Pigmentos, Tintas y Removedores (2001-2014) (miles de millones de pesos) (12).

Los tres grupos de bienes finales definidos anteriormente tuvieron las siguientes participaciones promedio: Pinturas (55,6%), Productos auxiliares a las pinturas (24,3%) y Tintas y pigmentos preparados (20,1%). Al analizar la producción para cada grupo de bienes finales se obtuvieron los siguientes resultados:

### 3.3.2. Productos auxiliares a las pinturas.

El valor promedio de la producción del grupo de productos auxiliares a las pinturas fue de \$ 323.948 millones y tuvo una tasa de crecimiento promedio anual de 1,5%. Este grupo exhibió un crecimiento importante entre 2001 y 2007 a una tasa de 7,5%, luego entre 2008 y 2014 presentó inicialmente una reducción en el valor de producción, después una recuperación y finalmente una caída. Este comportamiento en este último período implicó una tasa de crecimiento negativa de 2,9% (Gráfico 10).

Los eslabones que conforman este grupo tuvieron las siguientes participaciones promedio: Barnices y lacas (53,4%), Masillas (33,6%) y Solventes y removedores (13,1%). El primer eslabón pasó de \$166.193 millones en 2001 en el valor de producción a \$149.575 millones en 2014 y tuvo una tasa de crecimiento negativa promedio de 0,8%. El eslabón Masillas pasó de \$59.391 millones en 2001 a \$135.247 millones en 2014 y tuvo una tasa de crecimiento promedio de 6,5%. Y el eslabón Solventes y removedores tuvo un valor de producción promedio de \$42.968 millones con una tasa de crecimiento negativa de 3,2%.

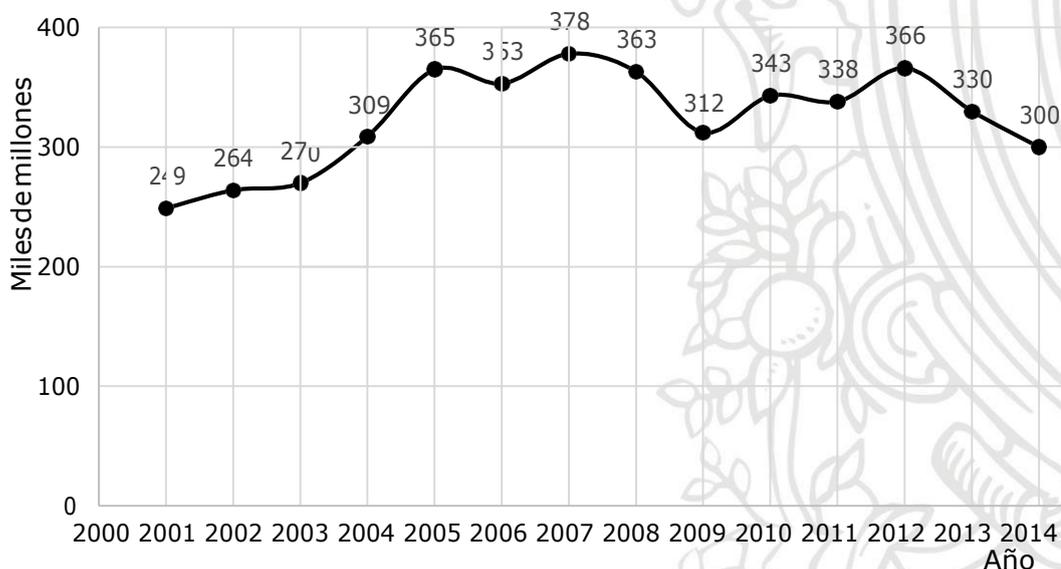


Gráfico 10. Producción del grupo de productos auxiliares a las pinturas (2001-2014) (miles de millones de pesos) (12).

### 3.3.2.1. Distribución geográfica de la producción.

Entre 2001 y 2014 en promedio el 96,6% de la producción se concentró en cuatro departamentos: Antioquia (60,2%), Valle del Cauca (14,5%), Bogotá (14,1%) y Cundinamarca (7,7%). Con respecto a los tres primeros departamentos la distribución no ha cambiado significativamente puesto que en el año 2001 Antioquia participó con el 69,0% de la producción, Bogotá con el 14,9% y Valle del Cauca con el 9,9%. En el 2014, Antioquia y Bogotá redujeron su participación alcanzando participaciones de 55,1% y 13,5%, respectivamente; en tanto que Valle del Cauca aumentó su participación a 16,1%. En el caso de Cundinamarca se observó un importante aumento de la participación en el valor de la producción de la cadena al pasar de 0,6% en 2001 a 11,9% en 2014 (Gráfico 11).

En Antioquia en promedio el 97,7% de la producción se distribuyó en siete eslabones: Pinturas de emulsión al agua (46,7%), Pinturas de emulsión al aceite (16,8%), Barnices y lacas (11,2%), Pigmentos y colores preparados (9,7%), Tintas (7,9%) y Masillas (5,3%). En Valle del Cauca en promedio el 97,0% de la producción se distribuyó en cinco eslabones: Tintas (53,2%), Pinturas de emulsión al agua (17,4%), Solventes y removedores (10,0%), Masillas (8,9%) y Pinturas de emulsión al aceite (7,5%). En Bogotá el eslabón final Pinturas de emulsión al agua concentró el 30,6% de la producción del departamento seguido por los eslabones: Barnices y lacas (27,3%), Masillas (15,3%), Pinturas de emulsión al aceite (13,4%) y Pigmentos y colores preparados (5,5%).

Los eslabones Tintas, Témperas y acuarelas y Solventes y removedores tuvieron participaciones promedio menores al 3,5%. Finalmente, en el departamento de Cundinamarca los eslabones finales con mayores porcentajes son: Pinturas de emulsión al agua (52,1%), Barnices y lacas (21,7%), Pinturas de emulsión al aceite (10,5%) y Masillas (7,5%).

Como se mencionó entre 2001 y 2014 hubo en promedio 128 establecimientos industriales dedicados a la producción de alguno de los bienes incluidos en los eslabones finales de la cadena productiva. Entre estos dos años se observó un incremento de 65,2% en el número de establecimientos debido a que en el año 2001 el número de establecimientos ascendió a 92 y en el año 2014 fue 152.

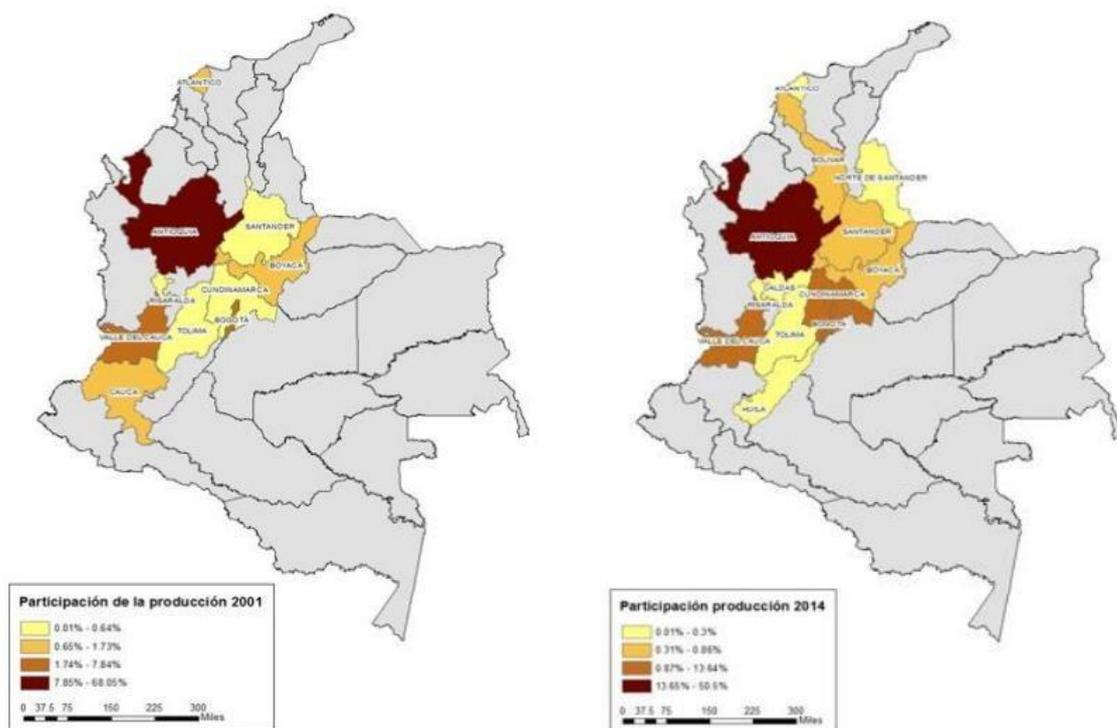


Gráfico 11. Distribución geográfica de la producción de la cadena Pinturas, Masillas, Pigmentos, Tintas y Removedores (2001-2014) (12).

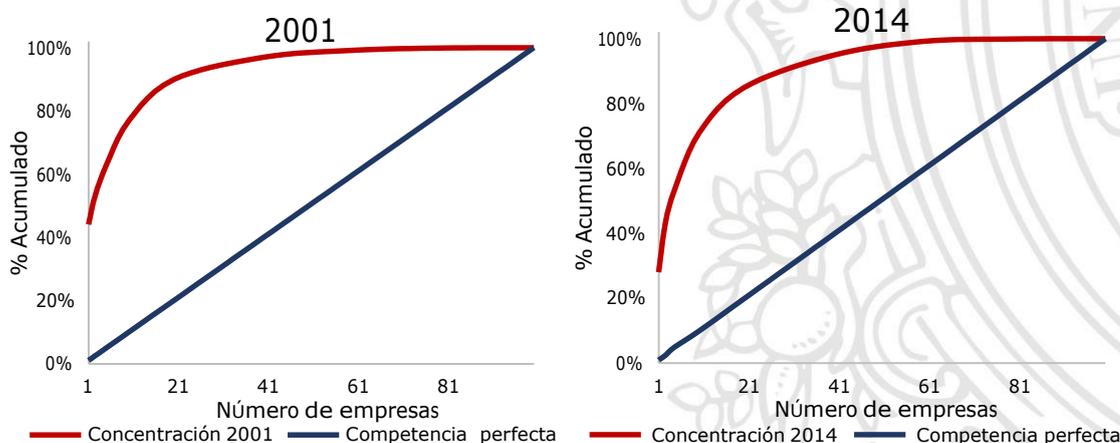


Gráfico 12. Curva de concentración empresarial de la cadena Pinturas, Masillas, Pigmentos, Tintas y Removedores (2001-2014) (12).

De los 92 establecimientos industriales que produjeron alguno de los productos finales incluidos en los eslabones finales de la cadena productiva, uno concentró el 44,1% y dos el 53,4% de la producción. Esta situación cambió de forma importante en 2014 dado que de los 152 establecimientos que registraron producción de los bienes finales de la cadena, solamente uno concentró el 28,0% y seis establecimientos el

53,3% (Gráfico 12). Lo anterior indica que, aunque la concentración de la producción sigue siendo alta, en el período analizado se redujo el nivel de concentración y, por ende, el nivel de competencia en la cadena productiva se incrementó.

### **3.3.2.2. Evolución de las exportaciones e importaciones de productos auxiliares a las pinturas.**

El valor de las exportaciones del grupo Productos auxiliares a las pinturas pasó de US\$2,3 millones en 2002 a US\$9,2 millones en 2017 con un crecimiento promedio anual de 9,1% y las importaciones pasaron de US\$1,9 millones en 2002 a US\$40,8 millones en 2017 con un crecimiento promedio anual de 21,0%. De esta forma, durante el período de estudio el grupo mostró un déficit comercial creciente que tuvo su mayor valor en 2015 cuando las importaciones superaron a las exportaciones en US\$35,4 millones (Gráfico 13).

Dentro del grupo el eslabón con mayor participación en las exportaciones es Masillas con una participación de 84,7% y una participación de 11,7% en las exportaciones de la cadena. Este eslabón pasó de US\$2,0 millones en 2002 a US\$7,0 millones en 2017 con un crecimiento promedio anual de 8,1%. El segundo eslabón en importancia es Barnices y lacas con una participación promedio de 11,0% y una participación el total de la cadena de 1,9%. En el período de estudio las exportaciones de este eslabón se incrementaron en US\$ 2,1 millones lo que implica una tasa de crecimiento promedio anual de 26,9%. El tercer eslabón en importancia es Solventes y removedores que tuvo una participación promedio en las exportaciones del grupo de 4,4% y de 0,5% en las exportaciones totales de la cadena. Este eslabón exhibió una tasa de crecimiento negativa de -6,3% debido a que pasó de un valor de exportaciones de US\$ 264,0 mil en 2002 a US\$ 93,5 mil en 2017.

De igual forma, el eslabón final con mayor participación en las importaciones Masillas con 80,2% y una participación de 18,1% en las importaciones de la cadena. Este eslabón pasó de US\$0,7 millones en 2002 a US\$33,8 millones en 2017 con un crecimiento promedio anual de 27,9%. El eslabón Barnices y lacas participó con el 16,0% en las importaciones del grupo y con 3,7% en las importaciones de la cadena. El valor de las importaciones de este eslabón final creció a una tasa de 7,4% y se incrementaron en US\$2,6 millones en el período de estudio. Finalmente, el eslabón Solventes y removedores registró una

participación promedio en las importaciones del grupo de 3,9% y una participación en el total de las importaciones de la cadena de 0,9%. Este eslabón tuvo la tasa de crecimiento más alta entre los tres eslabones del grupo (29,6%) debido a que entre 2002 y 2017 mostró una variación de US\$3,1 millones en el valor importado.

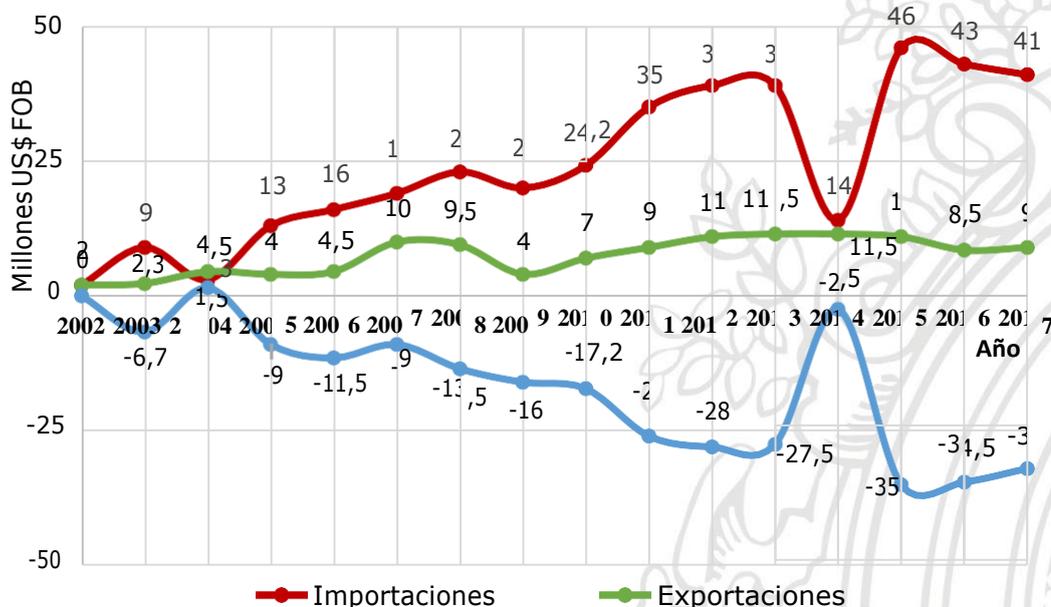


Gráfico 13. Evolución de la balanza comercial del grupo Productos auxiliares a las pinturas (2002-2016) (millones de dólares) (12).

Tabla 11. Demanda de minerales de construcción estimada a partir de la demanda de cemento gris para viviendas y edificaciones sin demoliciones.

Año	Minerales para construcción (millones de toneladas, sin demoliciones)					
	Caliza	Yeso	Arcilla	Minerales de Hierro	Arena	Grava
2014	3,83	3,52	3,32	2,42	2,32	3,73
2015	3,79	3,47	3,28	2,39	2,29	3,68
2016	3,86	3,54	3,35	2,44	2,34	3,75
2017	3,90	3,58	3,38	2,46	2,36	3,79
Total con reciclaje	15,38	14,11	13,33	9,71	9,31	14,95
Total sin reciclaje	13,94	12,78	12,07	8,80	8,44	13,55

\*\*\* se calcula multiplicando la producción en m<sup>3</sup> por 2.550 kg/m<sup>3</sup> (13). La recuperación de yeso es una buena alternativa de mercado, el yeso es uno de los minerales de mayor uso en el sector de la construcción

(Tabla 11). El material producido presenta alternativas para su disposición, la introducción de las cantidades disponibles en Senco Colombiana al mercado es viable, es de anotar que el yeso utilizado por esta organización es importados, así como la mayor cantidad del usado en el país.

### 3.3.3. Producción de estuco.

La producción de estucos, enlucidos y revestimientos requiere de la implementación de un sistema que consiste en cuatro silos, el primero contiene el yeso recuperado, un segundo contiene caolín, un tercero con cemento tipo comercial y un cuarto contiene aditivos, las cantidades debidamente pesadas en una balanza son agregadas a una mezcladora donde se homogeniza la mezcla, posteriormente se deposita en un silo desde el cual se agrega al empaque final.

### 3.3.4. Perfectibilidad financiera producción y comercialización de estuco.

Además de lo requerido para la recuperación del hemihidrato a partir de molduras de yeso, es necesario realizar una inversión adicional para el proceso de producción de estuco (Tabla 12). Además de maquinaria y equipo, se debe adelantar el proceso legal de registro de marca propia y elaborar un plan estratégico de mercadeo, donde se consignen las mejores alternativas para la venta y distribución de estuco a nivel nacional.

Tabla 12. Presupuesto de inversiones proceso de elaboración de estuco.

Activos	Valor Total (\$)
Banda Transportadora	10.000.000
Empacadora	1.800.000
Bodega Almacenamiento	25.000.000
Motor	6.000.000
Tanque con mezclador	15.000.000
Registro de marca	1.500.000
Plan de mercadeo	5.000.000
Inversión recuperación yeso	368.200.000
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>457.500.000</b>

Tabla 13. Presupuesto de ingresos y egreso, impuestos e indicadores de perfectibilidad para la propuesta de elaboración de estuco a partir de hemihidrato recuperado.

Año	Ingresos (\$)	Egresos (\$)	Impuestos (\$)	Utilidad (\$)
2020	1.113.739.200	1.035.864.483	15.574.943	62.299.774
2021	1.165.709.612	1.082.901.520	16.561.619	66.246.474
2022	1.218.339.070	1.131.037.320	17.460.350	69.841.400
2023	1.271.498.859	1.177.516.908	18.796.390	75.185.561
2024	1.325.180.269	1.226.290.969	19.777.860	79.111.440
2025	1.378.986.563	1.274.946.472	20.808.018	83.232.073
2026	1.432.888.390	1.323.364.781	21.904.722	87.618.887
2027	1.486.726.306	1.371.358.782	23.073.505	92.294.019
2028	1.540.334.683	1.418.713.049	24.324.327	97.297.307
2029	1.595.877.735	1.467.547.351	25.666.077	102.664.307
Inversión Inicial				457.500.000
Capital de Trabajo Inicial (KT)				42.147.366
Valor Presente Neto (VPN)				466.214.890
Tasa Interna de Retorno (TIR) (%)				16,52

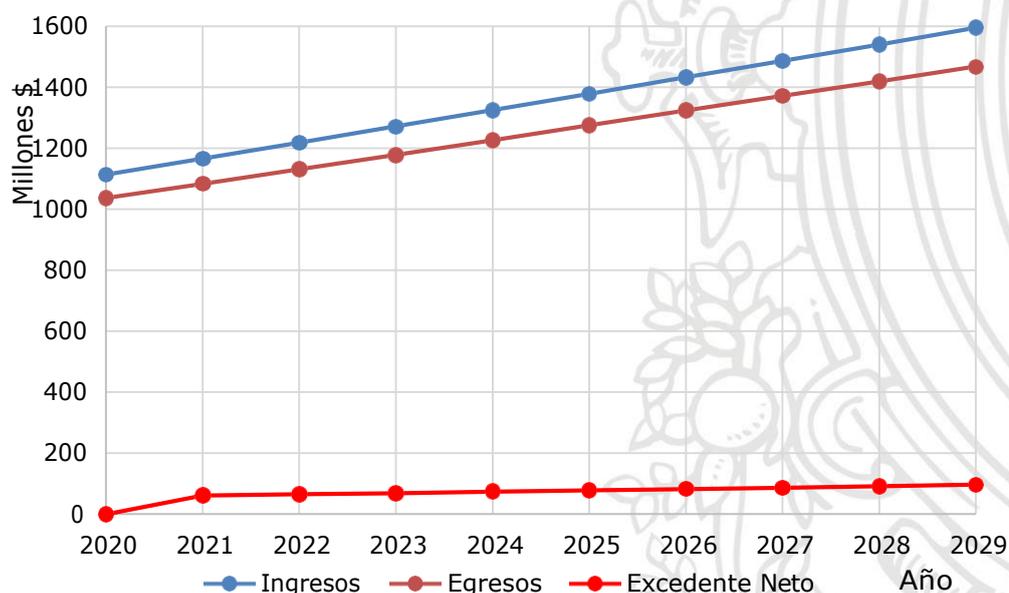


Gráfico 14. Presupuesto de ingresos y egreso en la producción de estuco a partir de hemihidrato recuperado.

En la Tabla 13 se hace un recuento de las estimaciones financieras supuestas para un periodo de 10 años, elaboradas en base a los datos estadísticos que la superintendencia de industria y comercio revela en el Sirem respecto de los estados financiero de las empresas del sector de

producción de bienes para la construcción. Las proyecciones de la inflación son las reveladas por Bancolombia.

Con la ayuda de 10 operarios y 2 administrativos se pueden procesar las 877 toneladas de estuco, resultantes de la mezcla de yeso hemihidratado con caolín, cal y otros aditivos. El valor de aproximado de recuperación por kilogramo es de \$ 1.270.

Se estima y valor presente neto (VPN) equivalente a \$ 418.380.556 y una tasa interna de retorno (TIR) de 18,42%. Para una inversión inicial de \$ 297.500.000 y un capital de trabajo, para el primer año de \$ 56.887.352, se concluye que los indicadores de perfectibilidad son aceptables, por lo que realizar la inversión resulta un buen negocio para la empresa. El equilibrio (Gráfico 14) se obtiene de forma inmediata, esto quiere decir que dadas las condiciones supuestas no se presentan periodos con déficit en el ejercicio.

#### **3.4. Placas de yeso.**

Las placas de yeso son estructuras compuestas por una matriz de yeso empaquetada entre dos láminas de cartón, algunos productores agregan a la matriz malla, no metálica debido a la acción corrosiva del yeso, para conferir mayor resistencia al esfuerzo y la tracción de la placa. Se encuentran placas de yeso de 9 y 12 milímetros de espesor, otras dimensiones son poco comerciales.

Es posible construir diferentes tipos de placas de yeso SEGÚN sea la necesidad de uso, estándar, resistente al fuego, resistente a la humedad, aislante de sonido, térmico, especializado y resistente a impactos. En el Gráfico 15 se presenta una vista esquemática del proceso de producción de placas de yeso.

Fueron elaboradas placa de yeso de 9 milímetros utilizando hemihidrato recuperado y cartón reciclado desde el centro de acopio de residuos de la organización. Se verificó que el hemihidrato utilizado cumpliera con las condiciones para transformarse en dihidrato.

Para hallar las mejores condiciones de trabajo se utilizaron diferentes relaciones agua/yeso, demostrando un buen comportamiento de la paca en relaciones entre 66,67% y 72%, siendo de apariencia más fuerte al aumentar esta relación como se aprecia en el Gráfico 16. Para A/Y por debajo de 66,67% el fraguado es tan acelerado que no permite el vaciado de la pieza, por lo contrario, cuando la relación es superior al 72% el yeso no fragua mostrando exceso de agua en su superficie.

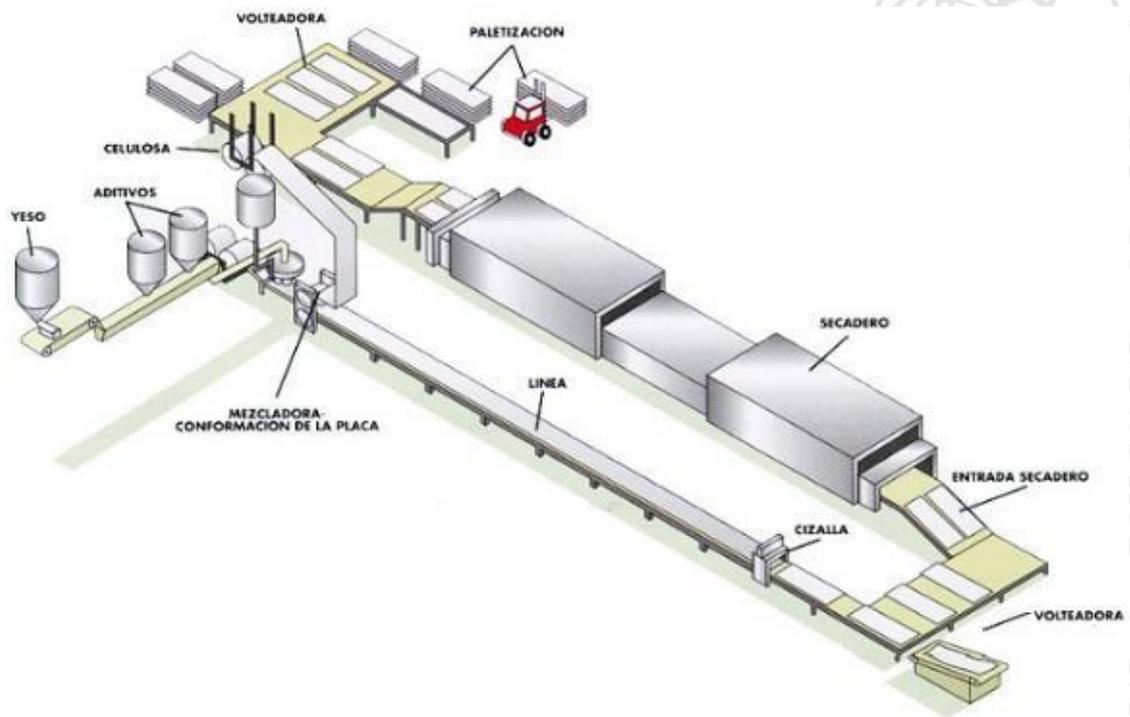


Gráfico 15. Proceso de producción de placas de yeso (14).

### 3.4.1. Mercado de las placas de yeso.

La revista Portafolio publicó que para 2008 Colombia importó cerca de 6 millones de metros cúbicos anuales de yeso hemihidrato, de los cuales solo Colombit consume 2,5 millones. Este mismo año Lafarge Gypsum y Etex invirtieron en Colombia US\$ 40 millones en planta de producción de sistemas a base de yeso (11).

El consumo entre los años 2000 y 2008 de placas de yeso (Drywall, Super board, Eterboard) en Colombia con un alza de 34% al pasar de 1,36 millones de metros cuadrados a 14 millones de metros cuadrados. Para 2009, se proyectó en 15 millones de metros cuadrados (15).



Gráfico 16. Placas de yeso elaboradas en base a hemihidrato recuperado.

En el año 2016 Knauf Colombia vendió 80.000 millones de pesos en placas de yeso, esta firma cuenta con dos plantas, Gyptec (ubicada en Cartagena) y Panaltec (Barranquilla), con capacidad instalada suficiente para atender el 87% de la demanda interna colombiana. El mercado potencial en el país son 30 millones de metros cuadrados de paneles de yeso o 'drywall' y 40 millones en el resto del área de influencia. Afirman poder producir 26 millones de metros cuadrados al año, de los cuales el 30 por ciento (7,8 millones de metros) tiene como destino la exportación (16).

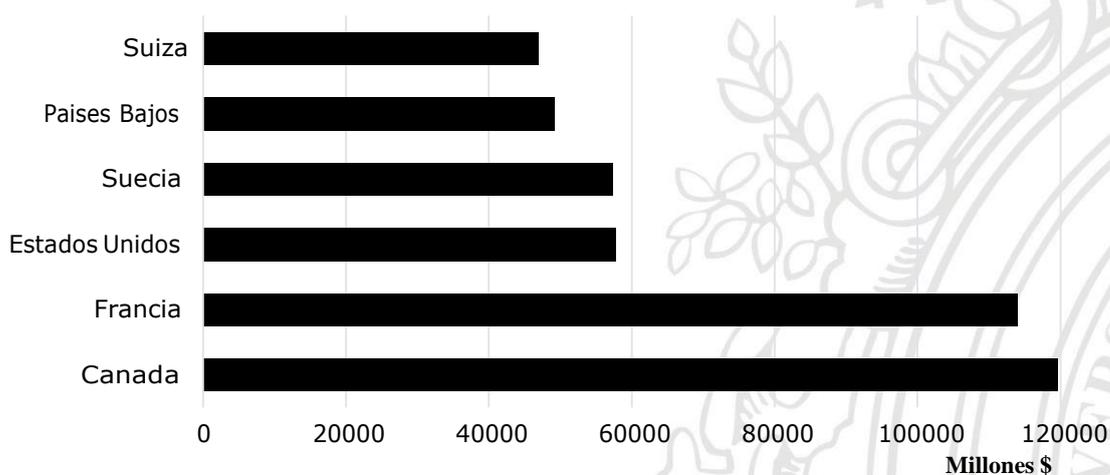


Gráfico 17. Países con mayor consumo de placas de yeso (17).

Tabla 14. Tamaño del mercado de placas de yeso por tipo 2013-2020 (billones de m<sup>2</sup>)(17).

Tipo (Placa de yeso)	2013	2014	2015-e	2015-p	CAGR (%) (2015-2020)
Estándar	8,13	8,45	8,91	11,61	5,44
Resistente al fuego	2,25	2,34	2,48	3,36	6,22
Resistente a la humedad	0,75	0,78	0,81	0,99	4,09
Aislante de sonido	0,69	0,72	0,76	1,00	5,70
Térmica	0,25	0,26	0,27	0,32	3,40
Especializada	0,25	0,26	0,27	0,34	4,40
Resistente a impactos	0,19	0,19	0,20	0,24	3,90
<b>Total</b>	<b>12,50</b>	<b>13,00</b>	<b>13,70</b>	<b>17,86</b>	<b>5,44</b>

e: estimado; p: proyectado

La superintendencia de industria y comercio, a solicitud de algunas de las productoras de yeso, publicó en 2016 un informe exponiendo datos sobre el mercado de las placas de yeso en busca de demostrar la existencia de la práctica ilegal de dumping en el mercado nacional con el propósito de acaparar el mercado de las placas de yeso, a continuación, se presentan los datos más relevantes para el presente estudio (17).

El consumo mundial de placas de yeso estándar en promedio 2011-2014, Gráfico 17, de los 6 principales consumidores representa el 66,97% del consumo mundial, en orden de mayor consumo están Canadá (18%), Francia (17,17%), Estados Unidos (8,71%), Suecia (8,61%), Países Bajos (7,41%) y Suiza(7,01%).

En el año 2013 la producción mundial de placas de yeso estándar llegó a 159.800 millones de m<sup>2</sup>. Los principales productores en el mundo para 2013 son, en orden de importancia, China (31,25%), Estados Unidos (10,19%), Irán (8,75%), Tailandia (5,63%), España (4,44%), Japón (3,44%), Italia (2,56%), México (3,13%) y Otros (30,5%).

Tabla 15. Tamaño del mercado de revestimiento para placas de yeso por tipo 2013-2020 (\$ billones) (17).

Tipo (Placa de yeso)	2013	2014	2015-e	2015-p	CAGR (%) (2015-2020)
Estándar	10,39	10,84	11,45	15,11	5,71
Resistente al fuego	3,52	3,66	3,90	5,26	6,18
Resistente a la humedad	1,17	1,22	1,27	1,59	4,51
Aislante de sonido	1,07	1,12	1,19	1,59	6,09
Térmica	0,40	0,42	0,43	0,52	3,66
Especializada	0,49	0,51	0,53	0,67	4,75
Resistente a impactos	0,28	0,30	0,31	0,38	4,21
<b>Total</b>	<b>17,31</b>	<b>18,06</b>	<b>19,08</b>	<b>25,13</b>	<b>5,66</b>

El mercado global de placas de yeso, revestimiento para placas de yeso y específico para placas de yeso estándar para los años 2013 a 2015 y la estimaciones y proyecciones para 2015, se relacionan en la Tablas 14, 15 y 16.

Se toma en cuenta hasta dos dígitos decimales para indicar los valores de crecimiento anual compuesto (CAGR, por sus siglas en inglés) de

modo de diferenciar claramente la tasa de crecimiento de los segmentos.

Tabla 16. Tamaño del mercado de placa de yeso estándar, por región 2013-2020 (\$billones) (17).

Región	2013	2014	2015-e	2015-p	CAGR (%) (2015-2020)
Norteamérica	3,02	3,15	3,31	4,28	5,26
Europa	2,95	3,08	3,25	4,24	5,50
Asia-Pacífico	3,31	3,45	3,63	4,71	5,35
RoW (resto del mundo)	1,11	1,16	1,26	1,88	8,34
<b>Total</b>	<b>10,39</b>	<b>10,84</b>	<b>11,45</b>	<b>15,11</b>	<b>5,71</b>

El yeso actúa como fertilizante natural, mejora la estructura del suelo y favorece la absorción de agua. También estimula el crecimiento de las plantas.

### 3.4.2. Fabricación de placas de yeso.

Las placas de yeso se producen en línea, agregando la mezcla de yeso hemihidratado con agua entre dos láminas de cartón con un ancho estándar, un rodillo permite alcanzar el espesor requerido, 9,5 o 12,7 milímetros (3/4 o 1/2 pulgada), una vez fraguado el yeso se cortan las láminas de tamaño 2,44 metros (8 pies) en cuanto al lado más largo, para ello se requiere:

Un recipiente con agitación y descarga por el fondo, sistema de alimentación para las láminas de cartón, rodillo o boquilla cuadrada de abertura variable, banda transportadora (preferiblemente rodillos) de longitud dada por la relación velocidad por tiempo de fraguado, máquina de corte, sistema de giro de paneles, montacargas. El sistema debe garantizar la fabricación de paneles de 1,22 metros (4 pies) de ancho.

Es requerido mucho espacio tanto para la instalación de la banda transportadora, así como, para la instalación de los equipos de mezclado y el almacenamiento del producto terminado.

### 3.4.3. Prefectibilidad financiera producción y comercialización de placas de yeso.

Para la instalación y montaje de un proceso de producción de placas de yeso se requieren inversiones para la recuperación del hemihidrato a partir de molduras de yeso, consideradas anteriormente, y la relacionadas con la instalación del equipo especializado en el proceso, así como, los costos derivados del cumplimiento de la normativa nacional como se observa en la Tabla 17. Se requiere el registro de marca propia y la elaboración de un plan estratégico de mercadeo.

Las estimaciones financieras supuestas para un periodo de 10 años se encuentran consignados en la Tabla 18, estas estimaciones fueron elaboradas en base a los datos estadísticos que la superintendencia de industria y comercio revela en el Sirem respecto de los estados financiero de las empresas del sector de producción de bienes para la construcción. Las proyecciones de la inflación son las reveladas por Bancolombia.

Tabla 17. Presupuesto de inversiones proceso de elaboración de placas de yeso.

Activos	Valor Total (\$)
Empacadora	1.800.000
Bomba	6.000.000
Tanque con mezclador	15.000.000
Equipo corte placas	5.000.000
Vaciado y formación Placas	10.000.000
Rotación Placas	15.000.000
Registro de marca	1.500.000
Plan de mercadeo	5.000.000
Inversión recuperación yeso	368.200.000
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>	<b>427.500.000</b>

Para implementar el proceso se requieren 12 operarios y 2 administrativos. Producción mínima que el negocio tenga viabilidad es de 42.186 placas en iguales cantidades de 9,5 y 12,7 milímetros de espesor con un valor promedio por placa de \$ 30.000. para lograr tal producción es necesario mezclar el hemihidrato recuperado con yeso nuevo o adquirir yeso reciclado, ya que el procesamiento de la cantidad que procesa Senco no alcanza a cubrir los costos y gastos de operación.

Tabla 18. Presupuesto de ingresos y egreso, impuestos e indicadores de perfectibilidad para la propuesta de elaboración de placas de yeso a partir de hemihidrato recuperado.

Año	Ingresos (\$)	Egresos (\$)	Impuestos (\$)	Utilidad (\$)
2020	1.265.586.685	1.292.826.812	-	(27.240.127)
2021	1.383.539.084	1.384.379.062	-	(839.977)
2022	1.512.552.751	1.483.694.168	5.771.717	23.086.866
2023	1.653.599.376	1.587.768.587	13.166.158	52.664.631
2024	1.807.892.734	1.701.221.555	21.334.236	85.336.943
2025	1.986.808.115	1.822.626.952	32.836.233	131.344.930
2026	2.170.783.602	1.951.777.504	43.801.220	175.204.879
2027	2.371.356.220	2.089.637.712	56.343.702	225.374.807
2028	2.589.843.494	2.236.776.571	70.613.385	282.453.539
2029	2.831.813.826	2.396.215.462	87.119.673	348.478.692
Inversión Inicial				427.500.000
Capital de trabajo				90.859.900
Valor Presente Neto (VPN)				586.667.976
Tasa Interna de Retorno (TIR)				14,95%

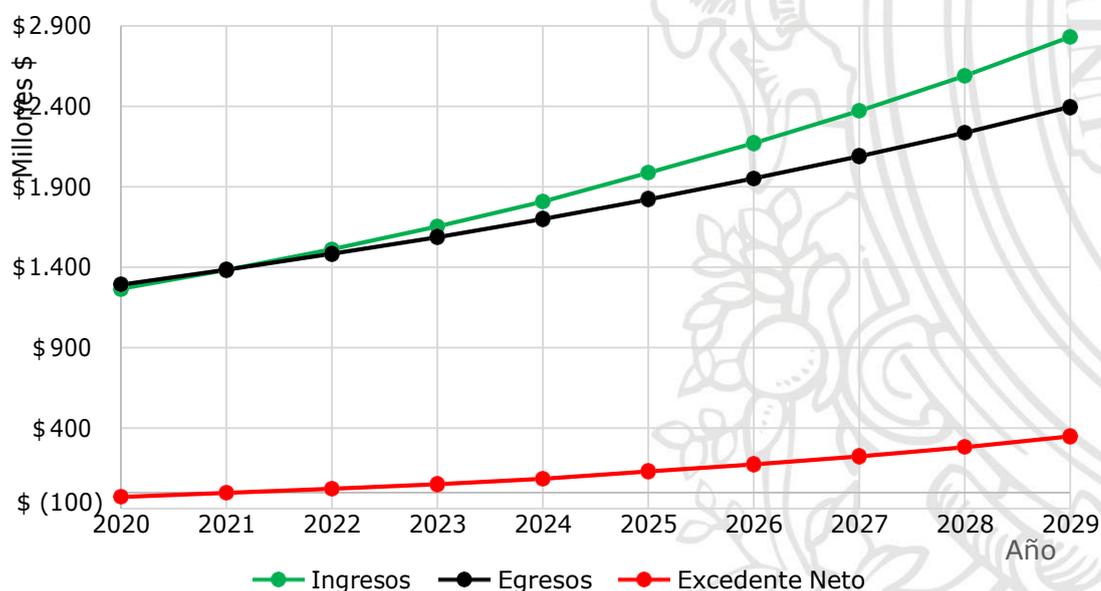


Gráfico 18. Presupuesto de ingresos y egreso en la producción de placas de yeso a partir de hemihidrato recuperado. Curva de equilibrio.

El presente ejercicio arroja como indicadores un valor presente neto (VPN) equivalente a 586.667.976 y una tasa interna de retorno (TIR)

de 14,95%, tal como se observa en la Tabla 18. Para una inversión inicial de 427.500.000 y un capital de trabajo, para el primer año de 90.859.900, se concluye que los indicadores de perfectibilidad son aceptables, por lo que realizar la inversión resulta un negocio que genera utilidades para la empresa y sus inversionistas. Para alcanzar el punto de equilibrio. Como se observa en el Gráfico 18, se requieren 2,2 periodos o dos años con tres meses.

### 3.5. Moldes para accesorios.

Las piezas cerámicas son elaboradas por procesos de vaciado, torneado o prensado. Tanto en vaciado como en torneado son utilizados moldes de yeso para dar forma a las piezas en producción. Las piezas grandes y las fabricadas por torneado requieren altas resistencias, para ello es necesario agregar hemihidrato  $\alpha$  y preferiblemente yeso de primer uso. Las piezas pequeñas o accesorios pueden fabricarse con hemihidrato recuperado, la resistencia requerida y su manipulación es baja, la capacidad de absorción es equivalente al de los moldes fabricados con yeso nuevo.



Gráfico 19. Elaboración de moldes para accesorios con hemihidrato recuperado.

Las condiciones de fraguado exigen que la relación agua/yeso (A/Y) este entre 68% a 71%, por debajo de este valor la consistencia de la mezcla no permite fluidez dificultando la circulación al interior de la matriz, cuando la relación aumenta no se presenta fraguado de la mezcla.



Gráfico 20. Elaboración de moldes para vajillería con hemihidrato recuperado.



Gráfico 21. Elaboración de molduras y cornisas con hemihidrato recuperado

El tiempo de fraguado resulta ser una variable de capital importancia, por ello se debe realizar la mezcla de forma adecuada. Al agua previamente pesada se agrega el hemihidrato paulatinamente haciendo agitación al mismo tiempo, una vez homogenizada la mezcla, continuar la agitación durante 60 o máximo 70 segundos. la matriz debe estar próxima a la zona de mezclado para permitir facilidad para agregar la mezcla antes del inicio del fraguado.

Los moldes fabricados con yeso nuevo presentan una tasa de 110 llenadas por cada uno, la ÚNICA prueba realizada tan solo resistió 19 llenados, resultando poco eficiente, 17,3%. Este molde se puede observar en el Gráfico 19. Es posible continuar realizando ensayos para alcanzar mejores resultados en cuanto a la resistencia del molde fabricado, donde se debe considerar la posibilidad de utilizar mezclas de hemihidrato recuperado con yeso nuevo y agregar hemihidrato  $\alpha$  a la mezcla.

La formación de piezas cerámicas por torneado es una de las técnicas utilizadas en Senco Colombiana, para ello se requieren molde de buena resistencia. Se evaluó la posibilidad de elaborar un molde para este tipo de procesos. El molde no resulto útil debido a la dificultad para obtener yeso de buena plasticidad, permitiendo el proceso de llenado de la matriz, en el Gráfico 20 se detalla los defectos presentados en este molde.

### **3.5.1. Mercado de los moldes para accesorios.**

Senco Colombiana requiere moldes para sus líneas de accesorios, estos pueden fabricarse integralmente con hemihidrato recuperado. La cantidad de yeso empleada en la fabricación de estos moldes representaría un ahorro en la compra de yeso nuevo.

### **3.6. Análisis del riesgo.**

La implementación de estas prácticas conlleva unos riesgos inherentes al desarrollo de la actividad que deben ser considerados:

Ambiental, por el consumo de energía que representa y por las emisiones producidas en el proceso de producción. Por ser este un proceso que

recupera un material desechado se justifica el empleo de recurso en su reintegración a la cadena productiva.

Financiero, representado en la recuperación de la inversión, la apertura de mercado, el posicionamiento del producto y alcanzar el punto de equilibrio y la obtención de rentabilidad a partir de la implementación del proceso.

La toma de decisiones a partir de estimaciones y datos, tomados de diferentes autores, aunque ellos sean oficiales o referenciados, dado el contexto en que fueron estudiados no necesariamente responde al que obedece la planta Senco Colombiana y su ubicación geográfica.

### **3.6.1. Debilidades.**

Capacidad financiera disponible para realizar las inversiones necesarias.

Gestión del capital de trabajo.

Actualmente no se dispone de maquinaria y equipo para el proceso.

Recurso humano capacitado disponible para la implementación y operación del proceso.

Conocimiento del mercado se encuentra en levantamiento.

### **3.6.2. Oportunidades.**

Materia prima disponible.

Mercado potencial cercano y amplio.

Vías de comunicación interconectadas y en buen estado.

Canales de distribución amplios.

Alta demanda y baja oferta del producto específico, especialmente de producción nacional.

Diversificación de productos a ofertar.

Viabilidad para acceder a créditos bancarios, por ser una organización con tradición en los mercados.

Recuperación de residuos y excedentes de producción.

Financiación como proceso ambientalmente sustentable.

Posicionamiento de la organización responsable con el medio ambiente.

Generación de nuevas plazas de empleo.

Aumento de utilidades para los inversionistas.

### **3.6.3. Fortalezas.**

Estructura organizacional consolidada, con experiencia y dispuesta a la apertura de diferentes procesos.

Capacidad para generar estrategias de mercado adecuadas.

Amplia experiencia en procesos de producción y ventas.

### **3.6.4. Amenazas.**

Lanzamiento de un producto con marca nueva, desconocida y en proceso de ganar la confianza del consumidor.

Sector con dominio por parte de importadores.

Productores nacionales en alianzas con multinacionales del sector.

Apertura de mercado.

Maquinaria y equipo no disponible o producida en Colombia.

Costo y disponibilidad de insumos y aditivos.

#### 4. CONCLUSIONES.

Mitigar el impacto de los procesos de producción mediante la minimización en la generación de residuos, aprovechando al máximo la capacidad de trabajo y la fabricación de nuevos productos, dando valor agregado a lo que hoy es un contaminante es una alternativa que ninguna entidad, de cualquier orden, no puede desestimar.

Desde el punto de vista ambiental, social, productivo y financiero es una necesidad la recuperación del yeso resultante de las molduras para la industria cerámica que han cumplido su función productiva. Los resultados experimentales, en concordancia con la base teórica, permiten aseverar que técnicamente es posible la recuperación del yeso dihidratado para producir yeso hemihidratado con potencial para elaborar diferentes artículos, especialmente estucos, placas de yeso y, eventualmente, moldes para accesorios pequeños.

Tal como se describe en el presente documento, las inversiones necesarias para la instalación del proceso de cocción y deshidratación de yeso, es una necesidad y resulta útil, desde el punto de vista técnico, para acondicionar un producto con múltiples alternativas de aprovechamiento.

Para el acondicionamiento de los materiales a recuperar es necesario:

Utilizar materiales resistentes a la corrosión por yeso, acero inoxidable o aluminio, para elaborar las estructuras de los moldes y así evitar la contaminación debida al poder oxidante sobre los materiales de ferrosos.

Utilizar tecnologías disponibles para la recuperación de los elementos estructurales de los moldes de yeso, actualmente esta operación se realiza con un mazo, un rotomartillo sería una buena alternativa.

Limpiar la barbotina y demás residuos cerámicos de los moldes, para disminuir los contaminantes en el producto final.

Disponer de un espacio de almacenamiento aislado de la humedad y que, preferiblemente, permita el secado inicial de las molduras, una cubierta tipo invernadero donde sea el calor del sol la fuente de energía es ideal, otra alternativa es utilizar los gases calientes provenientes de los hornos.

Disponer de un lugar aislado para la trituración de los moldes de yeso, la contaminación de la pasta cerámica con yeso repercute en el deterioro de las condiciones reológicas de la pasta cerámica barbotina

Utilizar como fuente energética para el secado, cocción o deshidratación de yeso, el calor emanado desde los hornos, del cual se tienen excedentes. Un horno rotatorio con una chaqueta y flujo en contracorriente, permite aprovechar la energía disponible y la disminución del impacto sobre el ambiente.

Fabricar prototipos, en base a diseños propios, de equipos para la transformación de los materiales de yeso. La disponibilidad de los equipos a nivel nacional es limitada, no obstante requerirse equipos de tecnología liviana.

Si bien el mercado del estuco y las placas de yeso son buenas alternativas y se dispone de espacio para nuevos participantes, el estudio de prefactibilidad indica que es mejor alternativa la producción y comercialización del estuco.

La producción de moldes para accesorios pequeños es factible, si y solo si, se realizan pruebas adicionales donde se busque la mejora de las condiciones de resistencia de las piezas fabricadas a partir del hemihidrato recuperado.

La fabricación de molduras y cornisas, por ser elementos decorativos no sometidos a alto esfuerzo, es una alternativa de aprovechamiento adecuada y con un posible mercado con capacidad de comercializar grandes cantidades de piezas.

La balanza comercial del mercado del estuco y las placas de yeso en Colombia muestra como la importación es más alta que las exportaciones, esto permite inferir que el mercado nacional muestra una mayor demanda respecto a la producción. En ambos casos la producción con calidad y buenos precios, acompañados de una buena estrategia de mercadeo y ventas, avizoran un mercado prospero.



## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Subsecretaría de Minas, Secretaría de Economía. *Perfil de mercado del yeso*. México, Distrito Federal : s.n., 2017.
2. Subsecretaría de Minas, Secretaría de Economía. *Estudio de la cadena productiva del yeso*. México, Distrito Federal : s.n., 2013.
3. ARREDONDO, F. *Estudio de Materiales*. Madrid. : Instituto Eduardo Torroja., 1980.
4. Comisión Europea CE. *Informe de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Sobre la aplicación del Plan de acción para la economía circular*. Bruselas : s.n., 2019.
5. PRIETO-SANDOVAL. Vanessa, JACA. Carmen y ORMAZABAL. Marta. *Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación*. San Sebastián, España : Memoria Investigaciones en Ingeniería, 2017. ISSN 2301-1092 • ISSN (en línea) 2301-1106.
6. SESMA BERUETE. Carmen. *Guía fácil para la gestión de los residuos en la empresa*. Equipo de Salud Laboral y Medio Ambiente de CC.OO. de Navarra, Gabinete de Salud Laboral y Medio Ambiente de CC.OO. de Navarra. Navarra : s.n., 2007.
7. GUILLÉN VIÑAS, José Luis. *Nuevas aplicaciones de recursos yesíferos: Desarrollo, caracterización y reciclado*. Tesis doctoral. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2003.
8. REGUEIRO, R. y GONZÁLEZ-BARROS. *El yeso. Geología y yacimientos en España*. 6, Madrid : Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 1997, Vol. 36. 563-569.
9. DÍEZ REYES, C. M. *Yeso- Normalización básica y directiva de productos de construcción*. 36, Madrid : s.n., Noviembre - Diciembre de 1997, Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Vol. 6, págs. 585-589.
10. GARCÍA MATOS, Candy. *Estudio del yeso tradicional y sus aplicaciones*. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona : s.n., 2016.

11. Revista Portafolio. [En línea] 8 de julio de 2008. [Citado el: 18 de diciembre de 2019.] <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/lafarge-gypsum-etex-invierten-colombia-us-40-millones-planta-produccion-sistemas-base-yeso-367654>.
12. NIETO, Víctor Manuel. PEREA, Santiago Alberto. Documento 485. Dirección de Estudios Ec. *Cadena productiva de pinturas, masillas, pigmentos, tintas y removedores: Estructura, comercio internacional y protección*. Bogotá : s.n.,2018.
13. RÍOS Ocampo, Juan Pablo. Olaya Morales, Yris. y Rivera León, Gabriel Jaime. Proyección de la demanda de materiales de construcción en Colombia por medio de análisis de flujos de materiales. [En línea] [Citado el: 20 de enero de 2020.] y dinámica de sistemas. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v16n31/1692-3324-rium-16-31-00075.pdf> .
14. Wikifab. [En línea] Proyecto 06030: Proceso de fabricación de placas de yeso laminado, 27 de abril de 2013. [Citado el: 09 de enero de 2020.] [wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Proyecto\\_06030:\\_Proceso\\_de\\_fabricaci3n\\_de\\_placas\\_de\\_yeso\\_laminado](http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Proyecto_06030:_Proceso_de_fabricaci3n_de_placas_de_yeso_laminado).
15. Periodico El Universal. [En línea] 19 de noviembre de 2009. [Citado el: 20 de enero de 2020.] <https://www.eluniversal.com.co/economica/cartagena-el-centro-de-distribucion-de-drywall-GKEU22697>.
16. Periodico El Tiempo. [En línea] 2 de marzo de 2018. [Citado el: 18 de diciembre de 2019.] <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16523214>.
17. Superintendencia de Industria y Comercio. *Investigación por supuesto dumping en las importaciones de placas de yeso estándar originarias de México*. Bogotá : s.n.,2016.

## 6. ANEXOS.

### 6.1. Fabricantes y distribuidores de estucos en Colombia.

Una amplia gama de posibilidades en materia de producción y distribución de estuco en Colombia, se indican los precios máximos y mínimos, en febrero 2020, de sus productos en el mercado.

Tabla 19. Empresas fabricantes y distribuidoras de estucos.

Empresa	Localización	Presentaciones	Precios (\$/ Kg)
Corona	Sabaneta – Antioquia	ESTUCOR (Zócalo, Professional Blanco, Capa Gruesa, Estuco Max, Estuco Plástico, Estuco y Molduras, Resane) TEXTUCO interiores, NEVADO exteriores, POROSIL AbarcoClaro	793 - 5.070 1.300\$/L  2.133 5.070 3.867
Sika	Tocancipá – Cundinamarca Rionegro - Antioquia	SikaBond PVA, Estuka Acrílico, SikaWall EstukaDos, Sika Estuka Panel, Estuka Panete, Sika Mastic Interior	1.100 - 14.475
Recol	Soacha – Cundinamarca	Recol Veneciano, Sahara, RecolCryll, Plaster, Masitex, Loft	15.324 - 19.760
Parex Group	Santiago de Chile (Imp)	Topex	796
Algreco	Yumbo - Valle	Greconal Acrílico	
Pintuco	Medellín	Estucomastic, Plástico interior, Plástico exterior, Graniplast	1.811
Tito Pabón	Bogotá	Estuco Plástico Interior	1.902 - 4.550
Invesa	Envigado – Antioquia	Sapolín Plástico interior, Invecryl 500	2.336 - 3.500
Coverplast	Yumbo - Valle	Corev	7.027
Pintuk	Neiva - Huila	Graniplats, Plástico interior, Plástico exterior,	
Dicol	Bogotá	Estuco plástico	1.433
Ícoar	Cali	Estuco listo	1.000
Montó	España (Imp)	Estuco Fibroelástico	3.560\$/L
Knauf	Bogotá	Estuco plástico	

Karson		Estuco plástico	1.675 1.778
--------	--	-----------------	-------------

### 6.2. Fabricantes y distribuidores de placas de yeso en Colombia.

El mercado de las placas de yeso en Colombia presenta varios actores compitiendo por posicionar sus productos, presentando una producción por debajo del consumo. Situación que posibilita la entrada de nuevos productos, para febrero 2020, los precios máximos y mínimos se indican en la Tabla 20.

Tabla 20. Empresas fabricantes y distribuidoras de placas de yeso.

Empresa	Localización	Presentaciones	Precios (\$/m <sup>2</sup> )
Etex	Cartagena	GYPLAC (Deco, Exsound), Superplaca	7.071 - 53.608
Knauf	Bogotá Barranquilla	SP Glass, Paneltec	7.071 - 12.083
Eternit	Bogotá	Eterboard	8.867 - 43.634
Toptec	Manizales	DryBoard	

### 6.3. Fraguado del yeso. Acelerantes y desacelerantes.

Hacer más lento, o veloz, el tiempo de fraguado del yeso es necesario cuando los artículos a fabricar requieren condiciones de fabricación o uso, especiales.

#### 6.3.1. Los acelerantes de fraguado del yeso.

La aceleración de la hidratación puede obtenerse de diversas formas:

- Aumento de la solubilidad de las fases anhidras con relación a la de dihidrato.
- Aumento de la velocidad de disolución de las fases anhidras.
- Aumento del número de gérmenes cristalizados.

Salvo algunas excepciones, la mayor parte de los ácidos corrientes (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>) y sus sales tienen una influencia sobre los dos primeros mecanismos. Para las sales de estos ácidos, el efecto acelerador decrece SEGÚN la secuencia: H<sup>+</sup> > M<sup>+</sup> > M<sup>2+</sup> > M<sup>3+</sup>.

Las sales de sodio tienen una influencia decreciente del fluoruro al sulfato, del siguiente modo: F<sup>-</sup> > Cr<sup>-</sup> > Br<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Para los cloruros, el máximo de eficacia se ha notado para el potasio SEGÚN se observa: Li < Na < K < Rb < Cs < NH<sub>4</sub>.

Para los sulfates la secuencia es: K > NH<sub>4</sub> > Na > Ca > Cu > Al.

El tercer mecanismo acelerador se apoya en la densidad de gérmenes que puede aumentarse de dos formas:

Adición de crudo de yeso pulverizado. Este acelerante será más eficaz cuanto más fino, seco y reciente sea. El mecanismo se ve favorecido igualmente por un amasado enérgico del yeso al principio de su hidratación, cuya consecuencia es la molienda de los primeros cristales de dihidrato formados, así como la renovación de las capas de agua sobresaturada en la superficie de los cristales en crecimiento.

Aumento de las imperfecciones de red y de los defectos de superficie de las fases anhidras, unidas a condiciones particulares de cocción y de molienda.

### **6.3.2. Los retardantes de fraguado del yeso.**

Existen varios mecanismos responsables del retraso del fraguado del yeso. Son los siguientes:

- Disminución de la velocidad de disolución de las fases anhidras.
- Disminución de la solubilidad de las fases anhidras.

- Absorción de iones en la superficie de los cristales de yeso en curso de crecimiento e incorporación de estos iones en la red.

Formación de complejos limitando la difusión hacia los cristales de dihidrato.

Tabla 21. Acelerantes y retardantes de fraguado del yeso.

Acelerantes	Retardantes
Ácidos Clorhídrico, Sulfúrico y Nítrico.	Fosfatos alcalinos y de amonio.
Sales de ácidos Clorhídrico, Sulfúrico y Nítrico.	Acetato cálcico, carbonato cálcico y carbonato de magnesio.
Sales de sodio	Ácidos orgánicos y sus sales solubles.
$F^- > Cl^- > Br^- > NO_3^- > SO_4^{2-}$ .	$H^+ > K^+ > Ca^{2+}$ .
Cloruros.	Proteínas degradadas.
$K > NH_4 > Na > Ca > Cu > Al$ .	Glicerina, alcohol, éter, azúcar, ácidos acético bóricos, cítrico, fosfórico, láctico y sosa.
Sulfatos (no Fe).	
$Li < Na < K < Rb < Cs > NH_4$ .	
Nitratos, cloruros, bromuros, ioduros alcalinos y de amonio.	Orgánicos de alto peso molecular, queratina, caseína, cola, albumina, gelatina, goma, proteínas hidrolizadas, melazas, taninos y productos de aminoácidos con formaldehído.
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , $K_2CrO_3$ , $NaSiO$ , tartratos, oxalatos de alta concentración, jabón.	

Los principales retardantes o retardadores son los que se mencionan a continuación:

Fosfatos alcalinos y de amonio, ácidos orgánicos y sus sales solubles (como el ácido cítrico y los citratos), proteínas degradadas. En general la eficacia de las sales de ácidos orgánicos sigue la secuencia:  $H^+ > K^+ > Ca^{2+}$ . Los mecanismos de aceleración y de alargamiento del fraguado se complican a menudo por varias razones. En primer lugar, un añadido está compuesto de aniones y cationes, cuyos efectos pueden ser antagonistas. Además, la solubilidad de las sustancias debe considerarse, pero no hay que olvidar que olvidar una noción tan importante, como es la velocidad de puesta en solución.

#### 6.4. Aspectos Legales y Normativos.

La Ley 99 de 1993 sentó las bases de la protección de los recursos ambientales, el derecho al ambiente sano y el saneamiento ambiental consagrados en la constitución de 1991.

La Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos Sólidos se implementó en 1998 por parte del Ministerio de Ambiente, que está orientada a promover procesos de minimización, aprovechamiento, valorización, tratamiento y disposición final controlada de los residuos sólidos. Mediante el Decreto 1713 de 2002 articuló el Manejo Integral de los Residuos Sólidos con la prestación del servicio PÚBLICO de aseo y que obligo a los municipios a elaborar, implementar y a mantener actualizado el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos -PGIRS-. Posteriormente la resolución 1045 de 2003 impuso la metodología para la formulación e implementación de estos planes como una herramienta de planificación para contribuir a disminuir los impactos que generan los residuos sólidos, que tienen gran incidencia en la protección del ambiente y en la salud PÚBLICA.

En 2005, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial redactó la Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos donde se establecieron las directrices para el manejo de estos residuos y se aprobó el Decreto 4741 por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los mismos.

Un resumen de las principales normas en materia ambiental es presentado por el área metropolitana del valle de Aburra se describe a continuación.

##### 6.4.1. Normas generales.

Tabla 22. Normativa General.

NORMA	DESCRIPCIÓN
-------	-------------

<p>Constitución Nacional de Colombia. 1991.</p>	<p>En los artículos 48, 79 y 80, se declara y fijan deberes y derechos fundamentales, tareas del Estado, con relación al derecho a un ambiente sano, a proveer los servicios públicos de agua y saneamiento ambiental, a la función social que debe cumplir la empresa, a administrar y proteger los recursos naturales. Las sentencias T-291/2009-; apartes de las sentencias T-724/2003, T-291/2009, C-793/2009, C-928/2009 de la Corte Constitucional, confirman algunas de estas obligaciones y los responsables de hacerlas cumplir.</p>
<p>Política para la Gestión Integral de los Residuos. 1998. Ministerio del Medio Ambiente.</p>	<p>Define los principios de la Gestión Integral para todos los tipos de residuos. Establece el máximo aprovechamiento y mínimo de residuos con destino al Relleno Sanitario. Define las categorías de Residuo Aprovechable y No Aprovechable.</p>
<p>Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos. 2005. Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.</p>	<p>Directrices para la Gestión de Residuos Peligrosos. Incluye Suelos Contaminados.</p>

#### 6.4.2. Leyes.

Tabla 23. Leyes ambientales y de saneamiento.

LEY	DESCRIPCIÓN
<p>Decreto-Ley 2811 de 1974. Presidencia de la República.</p>	<p>Código Nacional de los Recursos Naturales. Base para las autorizaciones, concesiones y autorizaciones para el uso y el aprovechamiento de los recursos naturales.</p>

09 de 1979.	Código Sanitario Nacional. Normas relacionadas con la protección del ambiente y la salud humana.
99 de 1993.	Sistema Nacional Ambiental. Crea el Ministerio del Medio Ambiente. Responsabiliza a todos y cada uno de los actores del desarrollo de la tarea de conservar y aprovechar de manera racional los recursos naturales y el ambiente. Define que las Autoridades Ambientales, serán las responsables de formular y verificar el cumplimiento de las políticas y normas ambientales.
142 de 1994 / 632 de 2000.	Compila elementos normativos y políticas existentes a la fecha, establecen y reconocen las conductas y procedimientos que se deben aplicar con relación a como valorar servicios y actividades de aprovechamiento de residuos. La Ley 142/94 en sus Art. 9 y 146 establece taxativamente que el servicio que se paga es el que se mide y fija claramente la función ecológica de los servicios públicos.
388 de 1997.	Ordenamiento territorial. Define el marco general que debe ser aplicado por los entes territoriales y en el que se debe incluir la variable ambiental dentro del escenario de desarrollo urbanístico.
1252 de 2008.	Gestión de residuos peligrosos. Regula en el marco de la gestión integral, la protección de la salud humana y el ambiente, lo relacionado con la importación y exportación de residuos peligrosos, su minimización desde la fuente, la producción más limpia; su disposición adecuada, la eliminación responsable de las existencias de estos dentro del país. Así mismo se regula la infraestructura de la que deben ser dotadas las autoridades aduaneras y zonas francas y portuarias.
1259 de 2009.	Comparendo Ambiental. Controla a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros mediante sanciones pedagógicas y económicas a todas aquellas personas naturales o jurídicas que infrinjan la normatividad existente en materia de residuos sólidos; así como fomentar las buenas prácticas ambientalistas.
1333 de Julio 21 de 2009.	Régimen sancionatorio ambiental donde: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se incorporan los Principios Ambientales y Constitucionales.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establece un Régimen de responsabilidad objetiva.</li> <li>• El daño ambiental se califica como infracción ambiental.</li> <li>• Define la función de las medidas preventivas y regula el régimen de las sanciones.</li> <li>• Establece los tipos de sanciones.</li> <li>• Se crea el Registro Único de Infractores Ambientales-RUIA.</li> </ul>
--	--

#### 6.4.3. Decretos.

Tabla 24. Compilación de decretos ambientales.

Decreto	DESCRIPCIÓN
1594 de 1984. Ministerio de Agricultura.	Control de los efluentes líquidos. Regula los procesos de sanciones por incumplimiento de normas ambientales, así como el procedimiento para el trámite y obtención del permiso de vertimiento de residuos líquidos. Derogado parcialmente por el Decreto 3930/2011 de Vertimientos. Aplica a los vertimientos de lixiviados producidos en los Rellenos Sanitarios.
0948 de 1995. Ministerio de Ambiente.	Reglamento de protección y control de la calidad del aire. Donde se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
1697 de 1997. Ministerio de Ambiente.	Modifica parcialmente el decreto 0948 de 1995.
2676 del 22 Dic. de 2000. Ministerio de Salud y Ministerio de Ambiente.	Residuos hospitalarios. Reglamenta ambiental y sanitariamente, la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares, generados por personas naturales o jurídicas.

1713 de 2002. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.
1505 de 2003. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos, especialmente lo relacionado con la definición de aprovechamiento, el acatamiento de parte las autoridades municipales al PGIRS, su actualización y la garantía de participación de los Recicladores.
1140 de 2003. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con el tema de las unidades de almacenamiento, y se dictan otras disposiciones.
838 de 2005. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.	Modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. (Puntaje selección de Sitios).
4741 de 2005. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
979 de 2006. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Modifica artículos 7,10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995. Sobre calidad de aire: Áreas Fuente.
1299 de 2008. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Departamentos Ambientales en las Empresas.
2820 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Licencias Ambientales. El Art. 9, numeral 10 que establece la competencia de las CARS (Corporaciones Ambientales Regionales) "la construcción y operación de instalaciones cuyo objeto sea el

	almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, recuperación y/o disposición final de residuos o desechos peligrosos, y la construcción y operación de rellenos de seguridad para residuos hospitalarios en los casos en que la normatividad sobre la materia lo permita". El numeral 12, del mismo artículo, establece que la construcción y operación de plantas cuyo objeto sea el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos biodegradables mayores o iguales a 20.000 toneladas/año, requieren de Licencia Ambiental.
3930 de 2011. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Se establecen los parámetros y límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado público, y se dictan otras disposiciones. La aplicación de esta norma, exige a los operadores de Rellenos Sanitarios, altas eficiencias en el tratamiento de los lixiviados.

#### 6.4.4. Resoluciones.

Tabla 25. Compilación Resoluciones reguladoras de emisiones y captación de recursos naturales.

Resolución	DESCRIPCIÓN
619 de 1995. Ministerio de Ambiente.	Establece parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.
1096 de 2000. Ministerio de Desarrollo Económico. RAS.	RAS. señala los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias, que adelanten las entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de acueducto, alcantarillado y aseo o quien

	<p>haga sus veces. En el título F de la sección II, presenta las definiciones, criterios de identificación de residuos urbanos, su separación, almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento, disposición final, criterios de ubicación de instalaciones para el tratamiento y disposición de residuos peligrosos, etc. En el Título J, se dan los criterios y especificaciones para los proyectos de aprovechamiento a nivel rural.</p>
<p>CRA 233 de 2002. Tarifa Multiusuario. Comisión Reguladora de Acueducto y Alcantarillado.</p>	<p>Multiusuario: usuarios agrupados en unidades inmobiliarias, centros habitacionales, conjuntos residenciales, condominios o similares bajo el régimen de propiedad horizontal vigente o concentrados en centros comerciales o similares que se caracterizan porque presentan en forma conjunta sus residuos sólidos a la Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios -ESPD- (Decreto 1713 de 2002 o normas que lo modifiquen) y solicitan medición como base de la facturación del servicio ordinario de aseo.</p>
<p>CRA 247 de 2003. Comisión Reguladora de Acueducto y Alcantarillado.</p>	<p>Reglamenta aspectos específicos de la Resolución 233, en lo relacionado con los requisitos específicos para solicitar la Tarifa Multiusuario.</p>
<p>ICA No. 00150 de 2003. Instituto Colombiano Agropecuario, hoy Agrosavia.</p>	<p>Adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia.</p>
<p>1045 de 2003. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.</p>	<p>Adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones.</p>
<p>CRA 351 y 352 del 2005. Comisión Reguladora de</p>	<p>Los estudios econométricos, que fundamentan las constantes de las ecuaciones para el cálculo tarifario de las Resoluciones 351 y 352 del 2005 de la CRA,</p>

Acueducto y Alcantarillado.	contienen las producciones per cápita por estrato socio económico, y se concluye con base en mediciones técnicamente bien hechas, que son mucho menores que las usadas hasta la vigencia de la Resolución 151 de 2001, con lo cual se dan los argumentos que es posible establecer valores reales de lo que se recoge, se transporta y se dispone en relleno sanitario, por lo cual se puede demostrar que el aprovechamiento, influencia directamente, no sólo el Valor medio de referencia de la disposición final, sino también los de recolección y transporte. En el Artículo 17, se da valor marginal y de "indiferencia" del aprovechamiento para el Generador, por lo cual se considera que tanto el valor como la forma de establecerlo no genera valor real de incentivo al aprovechamiento en la estructura tarifaria actual.
1023 de 2005. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación.
1552 de 2005. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por la cual se adoptan los manuales para evaluación de estudios ambientales y de seguimiento ambiental de proyectos y se toman otras determinaciones.
601 de 2006. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. (Olores)
187 de 2006. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	Adopta el reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaquetado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación, comercialización y se establece el sistema de control de productos agropecuarios ecológicos.
909 de 2008.	Establece las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
760 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas.
2153 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Ajusta el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones.
ICA No. 0000698 de 2011. Instituto Colombiano Agropecuario, hoy Agrosavia.	Establece los requisitos para el establecimiento de departamentos técnicos de ensayos de eficacia, productores e importadores de bioinsumos de uso agrícola y se dictan otras disposiciones.

#### 6.4.5. Regionales y municipales.

Tabla 26. Otras normativas nacionales y regionales.

Norma	DESCRIPCIÓN
Acuerdo 061 de 2009. Municipio de Guarne.	Reglamenta la ley 1259 o comparendo ambiental.
Decreto 029 de 2013. Municipio de Guarne.	Adopta disposiciones en relación al comparendo ambiental.
Acuerdo 004 de 2015. Municipio de Guarne.	Establece el plan de ordenamiento territorial.

#### 6.4.6. Normas de técnicas de calidad.

Tabla 27. Normas de técnicas de calidad relativas al procesamiento de yeso.

Norma	DESCRIPCIÓN
Norma técnica colombiana NTC 4914. Icontec.	Cementos. Especificaciones para el uso de yeso de estucado para fundición y para moldeado / ICONTEC Equivalente a ASTM C59-95.
Norma Técnica Colombiana NTC 5167 de 2011. Icontec.	Por la cual se establecen los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Reglamenta los límites actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros físico químicos de los análisis de las muestras de materia orgánica, los límites máximos de metales y enuncia parámetros para los análisis microbiológicos.
Norma técnica colombiana NTC 5227. Icontec.	Método de ensayo para el análisis químico de yeso y productos de yeso.
Norma técnica colombiana NTC 6159. Icontec.	Placas de yeso. Requisitos / ICONTEC Equivalente a ICONTEC ASTM C1396/C1396M : 2014 <sup>a</sup> .