



Disminución de las emisiones de formaldehído de tableros MDF mediante el uso de catalizador y secuestrante en resina UF y su impacto sobre las propiedades fisicomecánicas

María Fernanda Angarita Hernández

Trabajo de grado semestre de industria para optar al título de:

Ingeniera Química otorgado por UdeA

Asesores

Freddy Armando Jaramillo Ramírez, Ingeniero Industrial, Asesor Externo

Diego Fernando Mendoza Muñoz, Ingeniero Químico, Asesor Interno

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Química

Medellín, Colombia

2022

Cita	(Angarita Hernández, 2022)
Referencia	Angarita Hernández, M. F. (2022). <i>Disminución de las emisiones de formaldehído de tableros MDF mediante el uso de catalizador y secuestrante en resina UF y su impacto sobre las propiedades fisicomecánicas</i> [Semestre de industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.
Estilo APA 7 (2020)	



Asesor de prácticas Dexco Zona Franca: Freddy Armando Jaramillo Ramírez.



CENDOI, centro de documentación UdeA

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: Jhon Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Lina María González Rodríguez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
1 Objetivos	11
2 Marco teórico	12
3 Metodología	16
3.1 Revisión y programación	16
3.2 Pruebas de laboratorio	16
3.3 Producción en planta	17
3.4 Pruebas de calidad	18
3.5 Análisis de resultados y elaboración de informes	19
4 Análisis y resultados	20
4.1 Laboratorio	20
4.2 Proceso	22
4.2.1 Prueba de tracción	22
4.2.2 Perfil y distribución de densidad	22
4.2.3 Prueba del perforador (Norma UNE-EN ISO 12460-5)	24
4.2.4 Prueba del desecador (Norma JIS A 1460)	24
4.3 Costos	25
6 Conclusiones	26
7 Recomendaciones	27
Referencias	28
Anexos	29

Lista de tablas

Tabla 1 Diseño de experimentos	17
Tabla 2 Diseño de experimento del proceso	17
Tabla 3 Condiciones de proceso	18
Tabla 4 pH de los componentes	21
Tabla 5 Reporte de tracciones 12mm light	22
Tabla 6 Reporte prueba del perforador	24
Tabla 7 Reporte prueba del desecador	24
Tabla 8 Costos en planta secuestrante E0525	25
Tabla 9 Costo cada nivel de secuestrante E0525	25

Lista de figuras

Figura 1	Tiempo de gel de la mezcla a diferentes composiciones	20
Figura 2	pH de la mezcla en diferentes composiciones	21
Figura 3	Perfil y distribución de densidad 12mm light sin adictivo	23
Figura 4	Perfil y distribución de densidad 12mm light secuestrante al 1.8%	23
Figura 5	Perfil y distribución de densidad 12 mm light secuestrante al 3%	23

Siglas, acrónimos y abreviaturas

MDF	Tablero de fibra de densidad media
UF	Urea-Formaldehido
UdeA	Universidad de Antioquia

Resumen

La resina Urea-formaldehído es uno de los adhesivos más importantes en la fabricación de paneles de madera debido a su buen desempeño y bajo costo, sin embargo, históricamente las emisiones de formaldehído han sido consideradas cancerígenas, por lo que, se hace necesaria su disminución sin afectar las propiedades mecánicas de los tableros.

En el presente ensayo se dosifico Scavenger (secuestrante E0525), en dos diferentes niveles al proceso de producción de MDF 12 mm ambiente seco con el fin de disminuir el contenido y emisión de formol libre al ambiente, conservando las propiedades fisicomecánicas requeridas y así obtener tableros de baja emisión de formaldehido.

Se trabajó con una resina UF de relación molar 1:1.5 de urea-formaldehido; el Scavenger se suministró como ingrediente activo con una concentración del 65%, se logró dosificar en 2 niveles 1.8% y 3% (Kg de Scavenger/Kg de resina sólida) y un nivel 0% Scavenger. Todos los niveles se trabajaron con resina diluida al 50% con un porcentaje de sólidos de resina de 57%.

Los resultados indicaron que al aumentar el contenido de Scavenger se reducen las emisiones y contenido de formaldehído. Simultáneamente, se produce un incremento de las resistencias mecánicas y se logra aumentar la velocidad de producción de la línea, dado que, este además de secuestrante, se comporta como un catalizador. De los niveles estudiados de dosificación de Scavenger, se encontró que la más adecuada fue de 1.8%.

Palabras clave: formaldehido, emisión, contenido, tablero MDF, resina UF

Abstract

Urea-formaldehyde resin is one of the most important adhesives in the manufacture of wood panels due to its good performance and low cost. However, historically, formaldehyde emissions have been considered carcinogenic, so their reduction, without affecting the mechanical properties of the boards, is desirable.

In the present test, Scavenger (sequestrant E0525) was dosed at two different levels during the production process of 12 mm dry environment MDF with the goal of reducing the content and emission of free formaldehyde into the environment while preserving the required physical-mechanical properties of the boards and thus obtaining low formaldehyde emission boards.

We worked with a UF resin with a 1:1.5 molar ratio of urea-formaldehyde. The Scavenger was supplied as an active ingredient with a concentration of 65% and was dosed at two levels: 1.8% and 3% (Kg of Scavenger/Kg of solid resin) as well as a 0% Scavenger level. All levels were used with 50% diluted resin with a percentage of resin solids of 57%.

The results indicate that by increasing the Scavenger content, emissions and formaldehyde content are reduced. Simultaneously, an increase in mechanical resistance is achieved and the production speed of the line is increased, given that, in addition to being a sequestrant, the Scavenger also behaves as a catalyst. Of the Scavenger dosage levels studied, it was found that the most adequate was 1.8%.

Keywords: formaldehyde, emission, content, MDF board, MUF resin

Introducción

Los paneles de madera MDF se han consolidado industrialmente en la fabricación de muebles, mobiliarios y enchapes, se han adaptado a una gran variedad de usos dado su facilidad para ser cortados y mecanizados, además de comercializarse en formatos óptimos por un precio competitivo.

Los tableros MDF o “Medium Density Fibreboard” son tableros hechos a base de madera, generalmente pino o eucalipto, con una composición mínima de otras especies, que mediante procesos físicos es llevada a fibra que después junto con el uso de resina UF y otros adictivos como parafina es sometida a alta presión y temperatura en una prensa para generar su endurecimiento. Durante este proceso las resinas liberan el formol libre que no reacciona, esto sucede también posteriormente cuando los tableros son expuestos a la humedad, ya que se genera la hidrólisis de los enlaces aminometileno. La compañía Dexco realiza desde el cultivo de bosques, la fabricación de la resina, la producción de los tableros MDF, papeles melaminicos y la venta de producto terminado.(Costa et al., 2014)

La exposición aguda a formaldehído puede provocar cefaleas e irritación de las vías respiratorias, de la piel y de los ojos. La exposición crónica, a niveles bajos de concentración en el aire, puede causar problemas respiratorios similares al asma, y el contacto con la piel puede ocasionar irritaciones de la piel como dermatitis y picores. En la Unión Europea tras la aprobación, en diciembre de 2013, de la sexta adaptación al progreso técnico (ATP) del Reglamento CE nº 1272/2008 (Reglamento CLP), el formaldehído ha sido clasificado como cancerígeno (categoría 1B), pues se supone que es un cancerígeno para el hombre, en base a la existencia de pruebas en animales. (Sarmiento Acosta et al., 2013)

Históricamente la emisión de formaldehido de los tableros terminados de MDF ha sido una gran causa de estudio e investigación para encontrar nuevos métodos que permitieran contribuir para lograr disminuir la emisión de un componente que se denomina “cancerígeno conocido”, a través de los años se han desarrollado diferentes métodos, todos partiendo desde los análisis de las reacciones que se llevan a cabo en el prensado del tablero y su efecto en el producto terminado.

La disminución de este componente significa entonces un gran avance para el entorno laboral en el que personas desarrollan sus actividades, puesto que, la probabilidad de generar efectos nocivos es menor, además de salvaguardar la salud de las personas que disfrutan de los productos terminados que son generados con este material en su hogar y trabajo. Los posibles estudios y aplicaciones están limitados al proceso productivo, a la disposición en la que se encuentran los equipos y al sobre costo que en efecto se pueda generar. Laboralmente se establece un valor límite de exposición de 0,3 ppm para un período de 8 horas y un valor de 0,6 ppm para un período de exposición de 15 minutos.(Sarmiento Acosta et al., 2013)

En el proceso de producción se realizarán pruebas con resina UF de relación molar 1:1.5, esto acompañado de una adición de urea, un catalizador de sal de amonio y un secuestrante de formol libre. Finalmente se verificarán las afectaciones de estos componentes en las propiedades fisicomecánicas de los tableros, la disminución de emisiones de formaldehído, el costo del producto y el efecto sobre la productividad del proceso.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de los catalizadores y secuestrantes sobre las emisiones de formaldehído y las propiedades fisicomecánicas de los tableros MDF.

1.2 Objetivos específicos

Realizar pruebas en la fabricación en planta de tableros MDF, con relación molar de 1:1.5 de resina UF, catalizador y secuestrante de formol libre.

Analizar el efecto que se genera sobre las emisiones y contenido de formaldehído en los tableros MDF con el uso de la resina UF-MDF de relación molar 1:1.5, con la variación en relación del secuestrante DeuroChem E0525 y la adición de catalizador sulfato de amonio.

Evaluar el impacto sobre las propiedades fisicomecánicas de los tableros, el costo del producto terminado y la afectación en la productividad del proceso.

2 Marco teórico

Los tableros de MDF se realizan a partir de fibras de madera generalmente en proporción 30% Pino - 70% Eucalipto que son unidas con parafina y resinas sintéticas UF (Urea-Formaldehído) termoestables que se hacen reaccionar mediante presión y calor, como resultado se obtienen tableros sólidos, resistentes, uniformes y lisos en acabado. Las siglas MDF se corresponden con las iniciales de “Medium Density Fiberboards”. Es un material sumamente utilizado en carpintería ya que permite un trabajo versátil en diferentes aplicaciones como acabados, patrones y pinturas. También es posible utilizarlos como puertas o revestimiento de paredes, permiten ser enchapados con papeles melaminicos, no posee vetas, nudos o anillos de madera. Se comercializa en diferentes calibres y formatos.

Las propiedades fisicomecánicas más importantes que poseen estos tableros MDF son: alta dureza y tracción o cohesión interna de partículas, densidad media, buena resistencia a la flexión y a la ruptura, baja porosidad, buena ruteabilidad y bajo porcentaje de hinchamiento y % de humedad. Todas estas propiedades pueden ser verificadas en el laboratorio mediante métodos de ensayo estipulados por las normas europeas UNE EN 309-326.

Las materias primas que intervienen en su fabricación son fibras de madera, adhesivos, recubrimientos y aditivos. La composición regularmente es de 80% fibras, 10% de resinas sintéticas, 7% de agua y un 1 % de parafinas y aditivos. La fibra se obtiene cuando las astillas de madera reblandecidas y lubricadas con parafina son forzadas a pasar a través de los discos rotativos del desfibrador. Las especies de madera más utilizadas son los pinos y el eucalipto. Se utiliza como adhesivo resina urea-formaldehído (UF-MDF) en compañía de aditivos que son incorporan durante el proceso de para lograr mejorar sus propiedades. Los más usuales son la parafina, los productos ignífugos, los productos insecticidas, los productos fungicidas, los endurecedores, secuestrantes y catalizadores.

El proceso de producción de tableros MDF comienza con el descortezador de tambor donde se retira la corteza de la rolliza, luego la madera descortezada se fragmenta en astillas que se clasifican según su tamaño, de allí se escoge el tamaño óptimo que pasaran al proceso, estas son reblandecidas con vapor y transportadas al proceso de refinado para ser impregnadas con

parafina, desfibradas, inmediatamente después por medio de Hit-Jet se dosifica dentro de las tuberías de transporte una cantidad uniforme de resina, en este punto también es posible añadir ciertos aditivos que permitan mejorar las propiedades del tablero, este conjunto se llama cola. Debido al alto contenido de húmedas que se adquirió en el refinado, es necesario tener un proceso de secado. Las fibras necesitan ser secadas en tiempos muy cortos por los que se utilizan tubos secadores (principio de secado por tubo flash). Las fibras encoladas en la línea de soplado del Hit-Jet se inyectan centralmente en el tubo de soplado y se separan de nuevo después de unos segundos en el ciclón. Las fibras encoladas se dosifican uniformemente en forma de colchón sobre una banda transportadora continua que entra inmediatamente a un sistema pre-prensa para generar la desaireación de este; continuamente el colchón continuo ingresa en la prensa y es sometido a condiciones específicas de temperatura y presión que generan la reacción de la cola que permite el endurecimiento requerido en el tablero MDF. Los parámetros de calidad como la humedad, la densidad o el espesor del tablero se registran en varios puntos del proceso de producción y se utilizan para controlar el sistema.

Las resinas urea-formaldehído (UF) presentan características y propiedades interesantes para su procesado y aplicación: alta reactividad, buenas propiedades térmicas, ausencia de color durante el curado, buena adhesión, solubilidad en agua, alta capacidad de curado y bajo coste. Estas resinas se producen por reacción de urea y formalina (disolución acuosa de formaldehído) en cuatro etapas, la primera, de adición, en medio ligeramente alcalino, la segunda, de condensación, en medio ácido, la tercera es la de adición de urea y neutralización, y la cuarta de curado. La segunda adición de urea y neutralización se utiliza para lograr obtener las resinas con baja relación molar y a la vez con baja emisión de formaldehído y propiedades óptimas. (De et al., 2009)

El valor de pH, el contenido de sólidos y los catalizadores de las resinas de urea-formaldehído (UF) juegan un papel muy importante al proporcionar un entorno de pH combinado en la interfase entre la madera y las resinas UF. Para obtener la fuerza de unión óptima, el tiempo de prensado y la temperatura deben ajustarse al entorno de pH. Si esta corrección no es precisa, el adhesivo quedará sin curar o sobrecurada, y esto dará como resultado una mala tracción. Por lo tanto, una investigación de los efectos del valor de pH, el contenido sólido y los catalizadores de

las resinas UF en el tiempo de gel de las resinas UF es esencial para establecer parámetros de procesamiento efectivos para aplicar estos polímeros en la fabricación de compuestos a base de madera. (Xing et al., 2007)

La emisión de formaldehído es una de las principales desventajas de los tableros MDF por su alta toxicidad. Estas emisiones pueden representar un riesgo para la salud. En función de la cantidad y emisión de formaldehído podemos clasificarlos en E-1 y E-2, siendo el primero el de más baja emisión, y el aceptado por la normativa actual UNE-EN13986. La principal fuente de emisión de formaldehído es realmente un problema de reemisión, pues su baja resistencia a la humedad que provoca la hidrólisis de los enlaces amino metilenos induciendo la emisión del formaldehído libre.

La conveniencia de neutralizar un catalizador de curado ácido después de unir la madera reducía la liberación de formaldehído y aumentaba la durabilidad de los productos unidos. Los resultados muestran que las emisiones de formaldehído de las resinas UF y los tableros de partículas se ven afectadas por el tipo y el contenido del catalizador. Existe evidencia para la idea de que un mayor contenido de catalizador acelera no solo la tasa de curado de las resinas UF sino también su tasa de hidrólisis después del curado de la resina. (Xing et al., 2007)

El uso de secuestrantes de formaldehído y la adición de urea en el agua de dilución de la resina permite reducir el contenido de formol libre en los tableros. La urea es uno de los captadores más utilizados, y este hecho es una de las razones por las que se lleva a cabo la adición final de una o varias fracciones de urea en la síntesis de las colas. Así, la segunda adición de urea funciona como secuestrante del formaldehído remanente. La urea también actúa como tampón para controlar el pH y mejorar la estabilidad de las resinas UF frente al almacenamiento. El curado de la resina se puede describir como la continuación de la reacción de condensación. La condición ácida para este procedimiento se puede alcanzar por medio de la adición de un catalizador, como lo son las sales de amonio las cuales contribuyen con la disminución del contenido de formol libre. (Estévez Bolívar, 2012)

Mediante la prueba del perforador y del desecador se evalúan el contenido y las emisiones de formaldehído respectivamente mediante la norma UNE EN 120 en la cual se recurre al

método de la acetyl-acetona para posteriormente medir mediante el análisis fotométrico el contenido de formaldehído.

3 Metodología

El plan de trabajo a seguir se dividió fundamentalmente en las siguientes etapas:

3.1 Revisión y programación

Se realizó el planteamiento de pruebas preliminares a nivel de laboratorio con expertos de la compañía para analizar la viabilidad del ensayo y diseño de experimento a nivel industrial donde se definen los posibles contratiempos que se puedan presentar durante la ejecución y los instrumentos necesarios para esta, además de evaluar los posibles riesgos asociados a problemas de salud, económicos o ambientales.

3.2 Pruebas de laboratorio

Se realizaron pruebas de tiempos de gel y pH basados en el método de ensayo para resinas UF-MDF RFPR06Y, en las cuales se utilizó sulfato de amonio al 20%p/p como catalizador, adicionando diferentes porcentajes de urea al 20%p/p y Scavenger E0525 al 65%p/p sobre 50 gramos de resina líquida UF-MDF RM 1:1.15 con 57,1% de sólidos diluida hasta el 50%. El diseño experimental planteado se muestra a continuación en la **Tabla 1**.

Tabla 1 *Diseño de experimentos*

Experimento	%UREA	%CATALIZADOR	%E0525
1	0	2.5	0
2	0	2.5	1.8
3	0	2.5	3.0
4	5	2.5	0
5	5	2.5	1.8
6	5	2.5	3.0
7	0	0.5	0
8	0	0.5	1.8
9	0	0.5	3.0
10	5	0.5	0
11	5	0.5	1.8
12	5	0.5	3.0
13	0	0.0	1.8
14	0	0.0	3.0
15	5	0.0	1.8
16	5	0.0	3.0

3.3 Producción en planta

De acuerdo con los resultados se definió el diseño de experimento (**Tabla 2**) con los niveles seleccionados de secuestrantes para el proceso productivo.

Tabla 2 *Diseño de experimento del proceso*

Ensayo	RM Resina UF-MDF	%E0525
1.1	1.15	0.0
1.2	1.15	1.8
1.3	1.15	3.0

Se definieron las condiciones de proceso y dosificación que se muestran en la **Tabla 3** con ayuda de los ingenieros expertos de la compañía.

Tabla 3 *Condiciones de proceso*

Hora	%E0525/%Resina sólida	Velocidad de la línea	Flujo de resina (T/h)	%Resina sólida/%Fibra seca	Peso manta (kg/m²)
10:45	0.0	220	2.988	12.0	9.06
14:30	1.8	225	3.137	11.9	9.21
18:30	3.0	225	2.940	11.8	9.14

Se generó la producción de tablero MDF ambiente seco de calibre 12 mm Light, se trabajó con Pátula 30%-Eucalipto 70%, resina diluida al 50% con un porcentaje de sólidos de resina de 57.06% y un tiempo de gel de 66 segundos, la dosificación del secuestrante en la línea se mantuvo durante un periodo de 1 hora con las condiciones que se encuentran especificadas. el secuestrante se suministró como ingrediente activo (65%) sobre resina sólida.

3.4 Pruebas de calidad

Se realizaron pruebas fisicomecánicas según las normas establecidas y los equipos de laboratorio: densidad, tracción interna (EN 319), emisiones de formaldehído a través de prueba perforador (EN 120) y desecador (JIS A 1460).

Las pruebas fisicomecánicas se ejecutan con el fin de determinar las cargas máximas que pueden ser aplicadas al tablero y que tan rígido se encuentra, para así evitar el pandeo o deformación de este. La tracción interna se relaciona con la fuerza interna que poseen los enlaces entre las fibras y aporta su resistencia. La densidad específica que tan uniformemente se encuentra distribuida la fibra, se busca un comportamiento homogéneo a lo largo del espesor del tablero, en el cual se espera que las caras de este posean mayor densidad.

Las pruebas químicas para determinar la emisión y contenido se basan en la prueba que se denomina “perforador” que consiste en extraer mg de formaldehído/g de tablero que posee la muestra, esto se logra mediante la ebullición de las probetas junto con tolueno que extraen el formaldehído que posteriormente se transfiere al agua destilada que se analiza fotométricamente mediante el método de acetil-acetona. La prueba del desecador consiste en colocar las probetas en un desecador con un contenedor de agua destilada durante 24 horas para captar en esta el formaldehído que es emitido, el agua destilada se analiza posteriormente mediante el método de la acetil-acetona, la emisión se mide en mg de formaldehído/Litro de agua.

3.5 Análisis de resultados y elaboración de informes

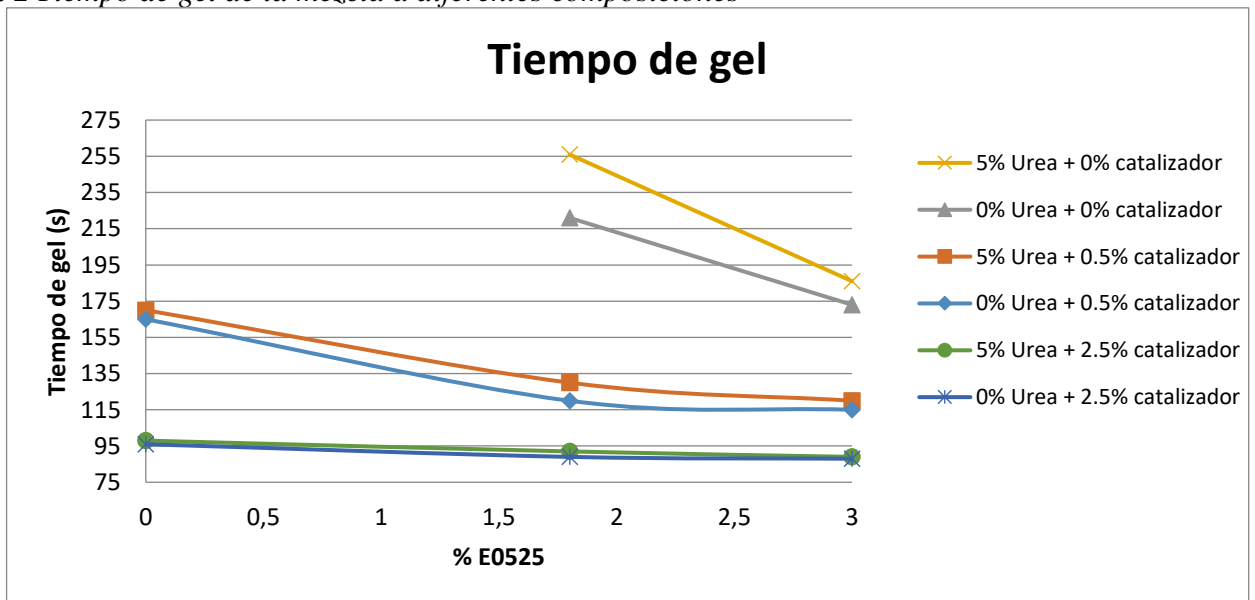
Se realiza la socialización de resultados, definición de mejoras y análisis de costos con los responsables del proceso, ventajas, desventajas y posibles futuros ajustes, finalmente se elabora el informe técnico de resultados.

4 Análisis y resultados

4.1 Laboratorio

Inicialmente se analizan los resultados de los ensayos realizados a nivel laboratorio, en la **Figura 1**, se presenta la influencia que tiene cada componente sobre el tiempo de gel de la resina, obteniendo así que cuando no se incluye catalizador, se generan los tiempos de gel más altos, el añadir urea incrementa el tiempo de gel. El secuestrante E0525 actúa como catalizador al contribuir con la disminución del tiempo de gel cuando se aumenta su composición. La acción catalítica de la mezcla se ve gobernada por el catalizador sulfato de amonio. Cuando se cataliza en mayor proporción se observa una mayor disminución en el tiempo de gel.

Figura 1 Tiempo de gel de la mezcla a diferentes composiciones



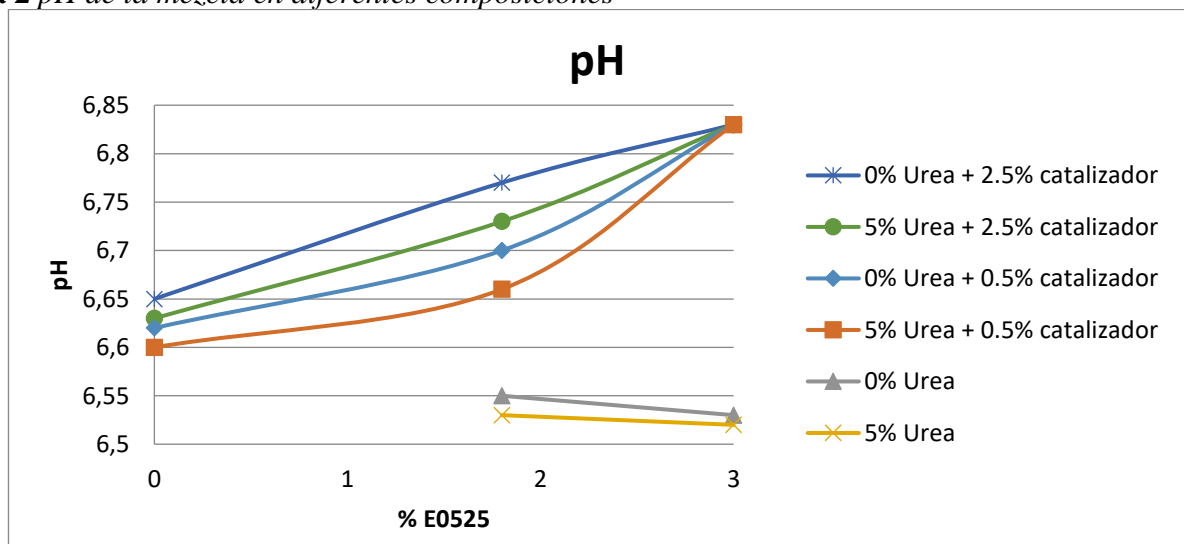
El pH de los componentes participantes de la mezcla presentan pH ácidos (sulfato de amonio, agua destilada), básicos (resina UF-MDF, Urea) y neutros (E0525) se observan en la **Tabla 4**.

Tabla 4 pH de los componentes

COMPONENTE	pH
Resina UF-MDF	8
E0525	6.56
Catalizador Sulfato de amonio	5.3
Urea	8.81
Agua	6.33

En la **Figura 2**, se presenta la influencia que tiene cada componente sobre el pH de la mezcla, obteniendo así que cuando no se incluye catalizador, se generan los pH más ácidos, cuando se cataliza en mayor proporción se consiguen los pH más altos (neutros). Al añadir urea disminuye el pH de la mezcla. El Scavenger E0525 contribuye con el incremento del pH cuando se encuentra en presencia de sulfato de amonio.

Figura 2 pH de la mezcla en diferentes composiciones



4.2 Proceso

4.2.1 Prueba de tracción

A continuación, las tracciones obtenidas se muestran en la **Tabla 5**, Se observa que el tablero sin dosificación de secuestrante E0525 se encuentra ligeramente por debajo de especificación, el tablero con dosificación de 1.8% presenta mayor cohesión interna, superando el valor especificado por Dexco Zona Franca (5,0Kg/cm²) para este calibre y el tablero con 3% cumple satisfactoriamente con la especificación antes mencionada.

Tabla 5 Reporte de tracciones 12mm light

Ingrediente Activo / Resina sólida	0%	3%	1.80%
Probeta	Tracción (Kg/cm ²)		
2	4,3	6,7	6,4
6	5,4	5,3	6,2
9	5,3	4,5	6,6
16	4,6	6,8	6,6
19	4,4	6,4	8,2
Promedio	4,8	5,9	6,8

4.2.2 Perfil y distribución de densidad

A continuación, se encuentran las gráficas de distribución de densidad realizadas durante en proceso de producción, para este calibre la especificación de densidad es de 640 Kg/m³, con lo que se verifica que el proceso se encuentra cumpliendo los parámetros necesarios establecidos por calidad.

El perfil de densidad indica una distribución deseada donde las caras del tableros sobrepasan los 1000 Kg/m³, lo que indica que es un tablero con caras duras y resistentes.

Figura 3 Perfil y distribución de densidad 12mm light sin aditivo

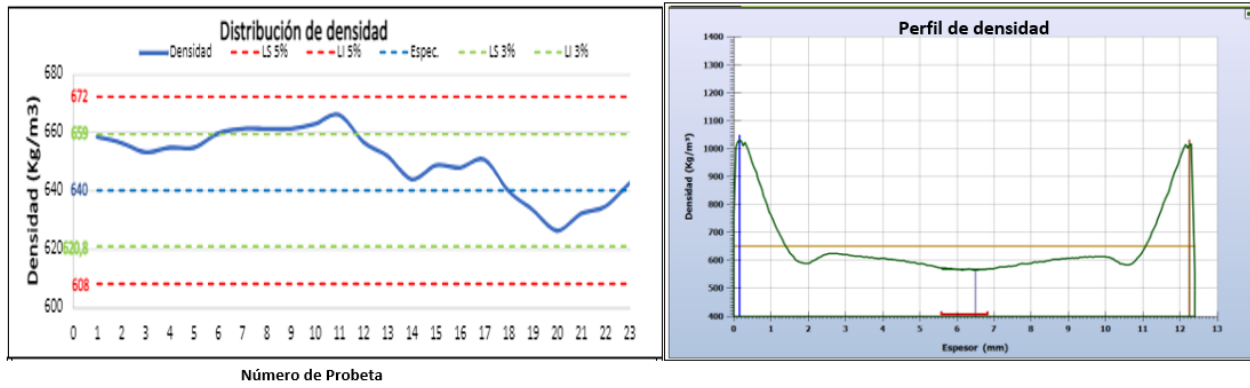


Figura 4 Perfil y distribución de densidad 12mm light secuestrante al 1.8%

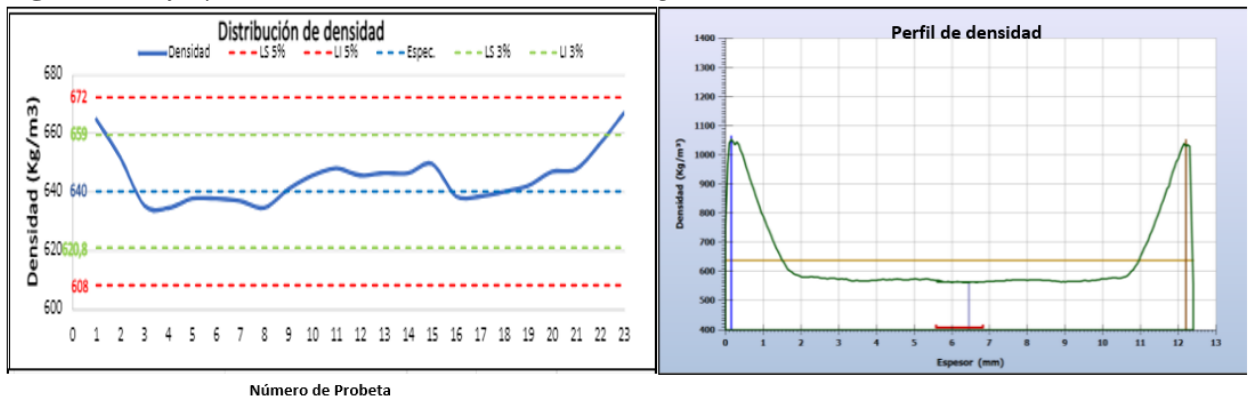
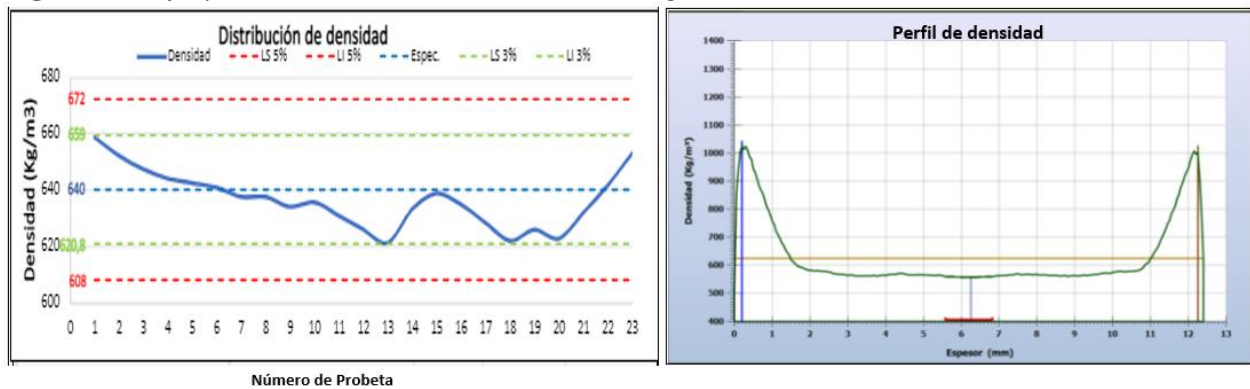


Figura 5 Perfil y distribución de densidad 12 mm light secuestrante al 3%



4.2.3 Prueba del perforador (Norma UNE-EN ISO 12460-5)

Como se observa en la **Tabla 6** el contenido de formaldehído de ambos tableros que contenían el secuestrante disminuyó considerablemente hasta obtenerse un tablero E2 según la norma. Los resultados obtenidos dejan como resultado que a mayor porcentaje de secuestrante E0525 se presenta una mayor disminución del contenido de formaldehído en el tablero. Cabe mencionar, que no se permitió el tiempo de estabilización complete, lo que incide en las emisiones de formaldehído.

Tabla 6 Reporte prueba del perforador

Ingrediente Activo / Resina sólida	0%	1.8%	3%
Valor perforador	34.4	23.3	14.89
% Humedad	7.26%	7.30%	6.40%
Absorbancia	1.652	1.082	0.719
Tipo de tablero	E3	E2	E2

4.2.4 Prueba del desecador (Norma JIS A 1460)

Como se observa en la **Tabla 7**, las emisiones de formaldehído de ambos tableros que contenían el secuestrante disminuyeron considerablemente, aunque en este caso no se logró una denominación E2 según la norma. Los resultados obtenidos dejan como resultado que a mayor porcentaje de secuestrante se presenta una mayor disminución en la emisión de formaldehído del tablero. Cabe mencionar, que no se permitió el tiempo de estabilización complete, lo que incide en las emisiones de formaldehído.

Tabla 7 Reporte prueba del desecador

Ingrediente Activo / Resina sólida	0%	1.8%	3%
Emisión de formaldehído (mg/L)	18.7	12.5	11.5
Área total (cm ²)	1782	1782	1782
Absorbancia	2.41	1.633	1.508
Tipo de tablero	E3	E3	E3

4.3 Costos

Para realizar el cálculo de los costos adicionales que se generan con el uso del Secuestrante E0525 en la **Tabla 8** se calcula el costo estimado que tendría importar este producto desde Alemania hasta la planta de Dexco Zona Franca Barbosa como sólido para así calcular el valor sobre los Kg de resina sólida.

Tabla 8 Costos en planta secuestrante E0525

Precio (Eu/kg liq)	€ 1.35	TRM (Eu/COP)	\$ 4,460
Precio (COP/kg liq)	\$ 6,021	Sólidos Scavenger 0525 (%)	65
Costo Estimado en planta E0525 (COP/kg liq)	\$ 8,021	Consumo resina real Feb 2022 (Kg sol/m3)	78.5
Costo Estimado en planta E0525 (COP/kg Sol)	\$ 12,340	Consumo resina estandar (Kg sol/m3)	73.8

En la **Tabla 9** se evidencian los costos en pesos colombianos adicionales que genera cada nivel de adición por cada metro cubico de tablero que es producido.

Tabla 9 Costo cada nivel de secuestrante E0525

Nivel	Dosificación E0525 (%)	Costo en uso (COP/m3 de tablero)
0	0	\$ 0
1	1.8	\$ 17,431
2	3	\$ 27,321

6 Conclusiones

La reactividad de la resina UF-MDF de relación molar 1:1.5 se ve beneficiada cuando el sulfato de amonio de pH ácido se encuentra en mayor proporción, sin embargo, el secuestrante E0525 es capaz de desempeñarse como secuestrante y paralelamente como catalizador, haciendo innecesarios el uso de una sal de amonio como catalizador, esto se evidencio en la curva de reactividad generada en el laboratorio y en el proceso, dado que se puede trabajar a una velocidad de prensado de 225 mm/s la cual es mayor a la estipulada para este calibre (180-200 mm/seg), generando así mayor productividad, lo que permite solventar los costos extras que conlleva su uso. Físicamente en el proceso no se podrían usar el secuestrante E0525 junto con el catalizador sulfato de amonio dado a la alta reactividad de la resina, se generaría un precurado de la fibra en los ductos, lo cual conlleva a taponamientos y daño en los equipos.

El contenido de formaldehído en los tableros MDF disminuye con la adición del secuestrante E0525 hasta lograr obtener tableros con denominación E2 en ambos porcentajes de dosificación, en los tres niveles de dosificación, con y sin secuestrante, los tableros cumplen con las tracciones y los perfiles y distribuciones de densidad requeridos, sin embargo los tableros que contienen secuestrante E0525 poseen mejores propiedades fisicomecánicas, aportando esto un gran valor al estudio ya que se podrían disminuir los costos al bajar el consumo de resina de los tableros en la línea, lo que conjuntamente llevaría a la disminución de la emisión de formaldehido al bajar el contenido de resina en el tablero.

Finalmente se concluye que el nivel 2, en el que se suministró el secuestrante E0525 en una concentración de 1.8%p/p posee las mejores características para ser utilizado en el proceso productivo, este generó tableros con denominación E2 y con mejores propiedades fisicomecánicas, adicionalmente con lleva menores costos que el nivel en el que se utilizó al 3%p/p.

7 Recomendaciones

Se recomienda realizar la medición de formaldehído en el ambiente productivo antes, durante o después de la producción, las pruebas de emisión y contenido de formaldehído para evidenciar la mejora que este producto genera en el entorno laboral durante la producción de los tableros MDF.

Referencias

- Costa, N. A., Pereira, J., Ferra, J., Cruz, P., Martins, J., Magalhães, F. D., Mendes, A., & Carvalho, L. H. (2014). Formaldehyde emission in wood based panels: Effect of curing reactions. *International Wood Products Journal*, 5(3), 146–150. <https://doi.org/10.1179/2042645314Y.0000000070>
- De, D., Facultad, Q., Ciencias, D. E., De, E., De, L. R., & Vallejos Calzada, S. (2009). *UNIVERSIDAD DE BURGOS ÁREA DE QUÍMICA ORGÁNICA RESINAS DE UREA FORMALDEHÍDO*.
- Estévez Bolívar, P. A. (2012). *Desarrollo, caracterización y optimización de resinas base urea-formol (UF), como adhesivos para tableros aglomerados con baja emisión de formaldehído* [Universidad de Burgos]. <https://doi.org/10.36443/10259/196>
- Sarmiento Acosta, N., Painado Acevedo, J. S., & Cadena Afanador, L. del P. (2013). Sintomatología causada por la exposición al formaldehído en estudiantes de medicina y sus posibles mecanismos fisiopatológicos. *IATREIA*, 27(4), 428–438. www.redalyc.org/articulo.oa?id=180532151006
- Xing, C., Zhang, S. Y., Deng, J., & Wang, S. (2007). Urea-formaldehyde-resin gel time as affected by the pH value, solid content, and catalyst. *Journal of Applied Polymer Science*, 103(3), 1566–1569. <https://doi.org/10.1002/app.25343>

Anexos

Anexo 1. Cálculos utilizados para los ensayos a nivel laboratorio

Catalizador

$$g (NH_4)_2SO_4 = \frac{\%catalizador * g resina liquida * \%solidos resina}{\%Concentración Catalizador * 100}$$

Urea

$$g Urea = \frac{\%Urea * g resina liquida * \%solidos resina}{\%Concentración Urea * 100}$$

E0525

$$g E0525 = \frac{\%E0525 * g resina liquida * \%solidos resina}{\%Concentración E0525 * 100}$$

Agua

$$g Agua = \frac{g resina liquida * \%solidos resina}{\%Dilusion resina} - g resina liquida \\ - \left(g Urea * \left(1 - \frac{\%Concentracion Urea}{100} \right) \right) \\ - \left(g Catalizador * \left(1 - \frac{\%Concentracion Catalizador}{100} \right) \right) \\ - \left(g E0525 * \left(1 - \frac{\%Concentracion E0525}{100} \right) \right)$$