



Sustitución del almidón de maíz en la formulación del adhesivo usado en la industria cartonera.

Wendy Lisseth Santis Correa

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniera Química.

Asesor interno

Lina María González Rodríguez , Ph.D. Ciencias Químicas

Asesor externo

Carlos Andrés Cuervo Vélez, Ingeniero Industrial

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

2022

Cita

(Santis Correa, 2022)

Referencia

Santis Correa, W. L. (2022). *Sustitución del almidón de maíz en la formulación del adhesivo usado en la industria cartonera*. Universidad de Antioquia, Medellín.



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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John 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.

Dedicatoria

A Dios, por iluminarme en los días difíciles sin su ayuda esto no sería posible.
Gracias a todas las personas que caminaron conmigo en este proceso de formación, a mi madre y a mis hermanas quienes día a día me motivaron a seguir adelante y quienes entendieron mi falta de tiempo a lo largo de mi carrera.
Y, sobre todo, gracias Juanis por creer en mí y ayudarme a explotar todo mi potencial, eres luz en la oscuridad; y por último a mi compañero de desvelos Thommy, mi fiel compañía en los días difíciles.

Agradecimientos

Mis agradecimientos a la Universidad de Antioquia por permitirme crecer como ser humano y profesional, a mis profesores por la transmisión de conocimientos y por sacarme de mi zona de confort; profesora Lina González siempre estaré agradecida por empoderarme en esta última etapa de formación académica. Gracias a Indugevi y los profesionales con los que he tenido el gusto de compartir, Andrés Vélez, Ramon Morales, Luisa Correa y Clementino Orejuela gracias por ser mis maestros en este mundo de la producción de papel.

Tabla de contenido

Resumen-----	7
Abstract-----	8
Introducción -----	9
Antecedentes-----	10
2 Objetivos-----	12
2.1 Objetivo general -----	12
2.2 Objetivos específicos-----	12
3 Problema de investigación-----	13
4 Marco teórico-----	14
5 Metodología-----	17
A Contextualización -----	17
B Revisión documental-----	17
C Definición de parámetros a medir-----	17
D Ensayo con la formulación estandarizada y toma de datos-----	18
6 Resultados y Discusión -----	19
6.1 Análisis de la formulación de goma actual empleada en Indugevi S.A -----	19
6.2 Producción y análisis de diferentes lotes de goma -----	23
7 Conclusiones -----	28
8 Recomendaciones-----	29
Referencias.-----	30

Lista de tablas

Tabla 1. Formulaci3n goma Indugevi S.A-----	19
Tabla 2. Formulaci3n batch 1 -----	23
Tabla 3. Formulaci3n batch 2 -----	24
Tabla 4. Formulaci3n batch 3-----	24
Tabla 5. Formulaci3n batch 4 -----	25
Tabla 6 . Formulaci3n batch 5-----	25
Tabla 7. Datos del corrugador de cart3n compacto cuando se emplea Coragum LS en la formulaci3n del adhesivo.-----	26
Tabla 8. Fomulaci3n goma con Coragum LS desarrollada para Indugevi S.A. -----	27

Lista de figuras

Figura 1. Consumo de almidón para los años 2021 y 2022 en el corrugador de cartón compacto de la compañía Indugevi S.A. -----	11
Figura 2. Gelatinización de un almidón. -----	14
Figura 3. Cartón compacto o fibra sólida producido en Indugevi S.A. -----	16
Figura 4. Tanques para la fabricación de goma en Indugevi SA.-----	21
Figura 5. Forma del tanque 2 a cubicar -----	21

Resumen

Indugevi es una empresa que produce papel y cajas de cartón con materia prima 100% reciclada. Mensualmente se producen alrededor de 3300 toneladas de papel, de las cuales 1400 toneladas son para uso interno de la compañía (43% de la producción mensual) en la fabricación de cajas corrugadas, cartón single face y cartón compacto. Con el fin de cubrir esta alta demanda de producto terminado es necesario el uso de corrugadores, los cuales tienen la función de unir las capas de papel con ayuda de goma de almidón de maíz.

Para adherir los diferentes tipos de papel en los corrugadores se usa una goma que está compuesta por agua, soda caustica, bórax y almidón de maíz, en donde el precio de este último se ha visto altamente afectado por las alzas que ha tenido el precio del dólar en los últimos meses. Esto ha llevado a la compañía a buscar otras opciones para sustituir el almidón de maíz, ya sea de forma parcial o total.

Durante el desarrollo de esta práctica, se encuentra que el Coragum LS tiene la misma afinidad que tiene el almidón de maíz para entrelazarse con las fibras de celulosa creando la adherencia que se requiere al pegar las capas de papeles en los corrugadores. Al usarlo en el corrugador de cartón compacto se encuentra un buen desempeño, se evidencia que la humedad de las láminas es óptima (13.8%) sin afectar la productividad de la máquina. Esta formulación es costada y arroja un ahorro del 5.87% en cada batch fabricado.

Palabras clave: cartón compacto, corrugadores, almidón, adherencia, Coragum LS.

Abstract

Indugevi is a company that produce 100 % recycled paper and cardboard boxes. The production is around of 3,300 tons of paper per month where 1,400 tons are for internal use (around of 43%) to manufacture corrugated boxes, single-face cardboard, and compact cardboard. To rich the high demand of finished product, it is necessary the use of corrugators, which have the function of joining paper layers with the help of corn starch gum.

To stick the different types of paper in the corrugators a gum is used. This gum is composed by water, sodium hydroxide, borax and corn starch; notwithstanding, the price of corn starch has been highly affected by the dollar exchange rate increase in the last months. Under those conditions the company is looking options to replace the corn starch, with another substitute either partially or totally.

In this work was found that Coragum LS has the same affinity that corn starch has to intertwine with cellulose fibers, creating the adhesion needed between the paper layers in the corrugators. In the solid board corrugator, good performance was found which is evident since the humidity of the sheets is optimal (13.8%) without affecting the productivity of the machine. This formulation is cost-effective and the savings are of 5.87% in each batch manufactured.

Keywords: solid board, corrugators, starch, adhesion, Coragum LS.

Introducción

Indugevi S.A posee un área de producción a partir de materia prima 100% reciclada (cartón, plegadiza y tubos) en la que se fabrican papeles; algunos para producción interna y otros para clientes externos. El papel de uso interno pasa al área de transformación para convertirse en cajas de cartón corrugado, cartón compacto y rollos single face.

El área de transformación posee tres tipos de corrugadores: el corrugador de rollos produce cartón single face que consiste en un liner exterior y un papel corrugado que se pega con la ayuda de goma de almidón. En el corrugador láminas se fabrica cartón corrugado que puede ser pared sencilla (tres papeles) o doble pared (cinco papeles), allí se junta un liner exterior, un corrugado medio y el liner interior que también son pegados entre ellos por medio de la goma, ya con estas láminas se produce a fabricar cajas de cartón según especificaciones de los clientes. Por último, se tiene al cartón compacto, el cual se fabrica prensando tres capas de papel, lo que le otorga rigidez y resistencia a la humedad, dichas capas se adhieren entre sí gracias a la goma de maíz.

Las materias primas para fabricar la goma son: almidón de maíz, agua, NaOH y bórax. El área de compras de la compañía reporta que el precio del almidón de maíz esta dolarizado, por tal motivo en los últimos meses se ha tenido un incremento significativo en el precio de este insumo; lo cual motiva a buscar algún producto que pueda sustituir parcial o totalmente esta sustancia, ya que se tiene una alta demanda de esta goma en el área de transformación de la compañía y los incrementos en los costos pueden verse reflejados en sus clientes.

Para lograr una nueva formulación de la goma se debe estudiar las propiedades del almidón de maíz, las cuales aportan la adherencia que se necesitan entre papeles; una vez identificadas las cualidades de dicha sustancia se procede a compararlas con compuestos que hay en el mercado, las cuales pueden reemplazar el almidón de maíz en la goma. Ya identificada la sustancia que presente propiedades de adherencia adecuadas se harán formulaciones que cumplan con valores óptimos de viscosidad, porcentaje de sólidos y punto de gelatinización. Se espera encontrar la formulación adecuada a escala laboratorio que se pueda llevar a planta para pruebas en los corrugadores.

1 Planteamiento del problema

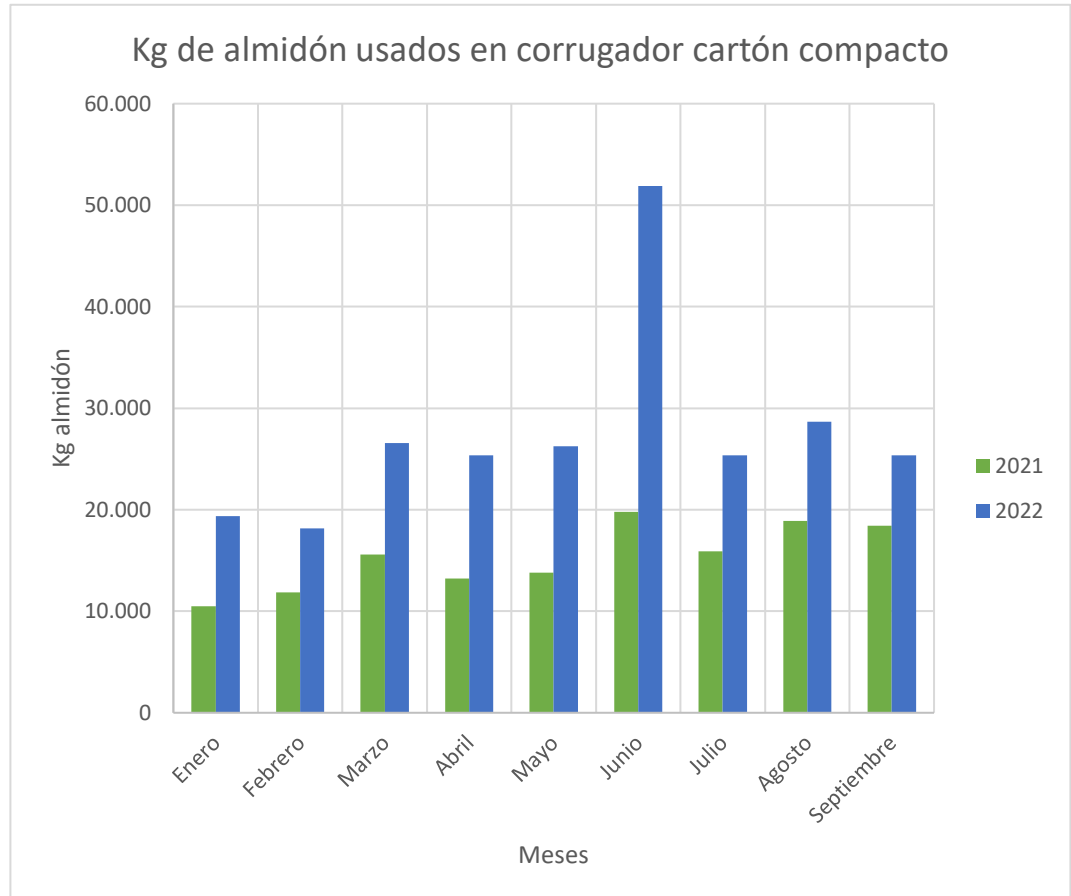
El uso de adhesivos en la industria cartonera es fundamental, ya que este producto es el encargado de pegar una a una las capas de láminas de cartón corrugado o cartón compacto. En Indugevi S.A este adhesivo es preparado a base de almidón de maíz, bórax, agua y NaOH, cada uno de estos ingredientes aportan propiedades para el pegado de cartones; en lo corrido del año en la compañía la producción de cartón compacto ha aumentado de manera significativa, lo que implica un mayor consumo de adhesivo, y por ende de las materias primas con las que se fabrica. Al comparar los kilogramos de almidón consumidos en el año 2021 entre los meses enero a septiembre con los del presente años, se observa un aumento de 78.9% consumo de almidón de maíz; esto más el aumento en el valor del precio dólar ha llevado a la compañía a buscar alternativas de un sustituto del almidón maíz en la formulación de la goma.

Antecedentes

El consumo de almidón en el corrugador de cartón compacto en Indugevi S.A en el periodo de enero a septiembre del 2021 con relación al periodo de enero a septiembre del 2022, tuvo un crecimiento del 78.9%, estos datos se representan en la figura 1.

Figura 1.

Consumo de almidón para los años 2021 y 2022 en el corrugador de cartón compacto de la compañía Indugevi S.A.



Nota. Fuente elaboración propia

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento que tiene el Coragum LS compuesto a base de maíz, en la fabricación de la goma empleada en la producción industrial de cartón compacto.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar los valores óptimos de viscosidad, porcentaje de sólidos y punto de gelatinización de la formulación de la goma usada en la fabricación de cartón compacto.
- Hacer seguimiento de la humedad final de las láminas de cartón compacto.
- Verificar si esta nueva formulación tiene la adherencia necesaria para pegar correctamente las láminas de cartón compacto.
- Calcular el costo de fabricación de un batch de la nueva goma usada en el corrugador de fibra sólida.

3 Problema de investigación

En el mercado existen sustancias con propiedades similares al almidón de maíz como el almidón de yuca, plátano o algunos almidones modificados; Coragum LS es un compuesto a base de maíz que desarrolló la compañía Ingredion, del cual se sabe que es un “*compound*” obtenido con la última tecnología del proceso de molienda húmeda. Dicho compuesto fue desarrollado para reemplazar el almidón de maíz en la formulación del adhesivo empleado en plantas corrugadoras. Entre las propiedades de este compuesto se tiene la buena adherencia en formulaciones con un bajo porcentaje de sólidos, lo cual es ideal para lograr reducir el consumo de almidón en Indugevi S.A, sin perder propiedades de pegado en los corrugadores.

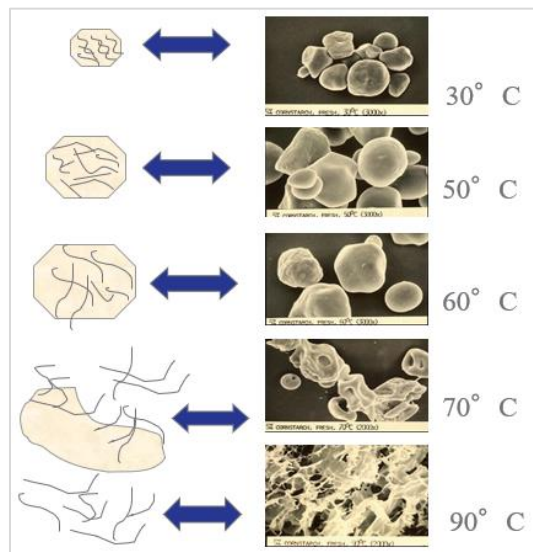
Los ensayos con Coragum LS se realizan en el corrugador de fibra sólida, ya que por su diseño (3 hojas planas de papel pegadas) es el producto que consume más goma en la compañía y en el que más ahorro se podría tener si se el proyecto da resultados positivos.

4 Marco teórico

El almidón es un polímero de origen natural presente en tubérculos, semillas y raíces de plantas formado por unidades de glucosa. Es un componente fundamental de la alimentación humana, pero a su vez puede usarse como base para la elaboración de adhesivos gracias a que cuenta con amilosa (estructura lineal) que ayuda a la formación de una estructura gelificada y la amilopectina (estructura ramificada) que aumenta la viscosidad en los líquidos.

Para encontrar la fórmula adecuada en los adhesivos es necesario conocer las características de los almidones que están presentes en el mercado, una de estas es *el punto de gelatinización*, allí ocurre un proceso irreversible en el cual a una temperatura alcanzada los gránulos de almidón sufren un hinchamiento cuando este es calentado en suspensión acuosa produciendo el rompimiento de los enlaces de hidrógeno (cada tipo de almidón gelatiniza en un rango de temperatura definida); en este proceso de gelatinización algunas moléculas cortas de amilosa se disuelven y se difunden fuera de los gránulos gelatinizados, mientras que las moléculas más largas de amilosa refuerzan la estructura de los gránulos gelatinizados.(Carrascal, 2005)

Figura 2.
Gelatinización de un almidón.



Nota. Fuente (Ingredion TM, 2016)

Otro parámetro que se debe controlar es *la viscosidad* de la goma ya que, una viscosidad demasiado baja, el agua tiende a “absorberse” en el medio, es decir, difundirse de la línea de pegado y el almidón puede que no tenga suficiente agua restante para gelatinizar completamente, y por consiguiente no llegar a sus propiedades completas de unión y llevar a que se desprenda cartón. Por otra parte, con una viscosidad demasiado alta, su penetración en el medio se vuelve demasiado lenta, conduciendo a líneas de pegado amplias y de este modo a sobreconsumo del adhesivo, esto se evidencia en un cartón húmedo y suave a la salida de la corrugadora.(Steichen & Louis, 2014)

El método básico para hacer goma a base de almidón se ha mantenido prácticamente igual durante más de 80 años, donde se sus ingredientes son agua, NaOH, bórax y almidón (generalmente maíz o trigo), la función de cada uno de estos en dicha formulación se describe a continuación:

- *Hidróxido de sodio (NaOH)*: ayuda que los gránulos de almidón se hinchen, es decir, proporciona la energía necesaria para disolver y cocinar el almidón aun a temperatura ambiente y junto con el bórax aumentan la viscosidad del adhesivo. Se debe tener en cuenta que si se agrega soda en exceso la viscosidad disminuirá, ya que ocasiona que las partículas gelatinizadas se rompan en unas más pequeñas y también ocurriría una gelatinización prematura.(Diaz & Fiallos, 2011)
- *Bórax*: es necesario para impartir viscosidad, pegajosidad y para mejorar las propiedades de la película; junto con la soda cáustica, el bórax determina la penetración tanto en los revestimientos como en el medio. (Olari, 2013)
- *Agua*: es el vehículo en el cual se transporta el almidón y permite que el almidón crudo se hinche y gelatinice para formar la unión.
- *Almidón*: se trata del componente activo del adhesivo, una vez aplicado entre las fibras y con la incorporación de calor procede a hincharse y gelatinizarse para después entrelazarse a las fibras de celulosa.(Olari, 2013). Entre un 15% y 20% del almidón total es cocido en parte del agua con NaOH para servir como Carrier del almidón crudo.

- *Coragum LS*, es un “*compound*” obtenido con la última tecnología del proceso de molienda húmeda fabricado por la compañía Ingredion, el cual está en su etapa de caracterización. Este ingrediente fue desarrollado para formulaciones de adhesivos con bajos sólidos en cualquiera de los sistemas de preparación en la industria del Corrugado. Por su estructura química, confiere una alta estabilidad de la viscosidad del adhesivo, proporciona un fuerte desempeño en el pegado del cartón y permite incrementar el Green Bond durante el proceso en la máquina corrugadora.(Ingredion TM, 2022). Este compound será el sustituto del almidón de maíz en la formulación del adhesivo.
- *Cartón compacto o fibra sólida*: La fibra sólida es un producto a base de papel que se forma con el pagado de distintos papeles para dar espesor, gracias a su extraordinaria capacidad de resistencia y flexibilidad, el principal uso de este material se centra en las encuadernaciones, paletizado y separadores de diversos artículos, presentando en el mercado unas características únicas en calidad y costo.

Figura 3.

Cartón compacto o fibra sólida producido en Indugevi S.A.



Nota. Fuente <https://indugevi.com/>

5 Metodología

A Contextualización

Previo a la realización del proyecto se debe conocer la formulación del adhesivo que se emplea en el corrugador de cartón compacto, así como también las variables que se miden y los valores de referencia de estas. Realizar esto ayuda a conocer el proceso de fabricación de goma en la compañía para así poder trazarse objetivos concretos.

B Revisión documental

En primer lugar, se recolectará información del rol que cumple cada sustancia en la producción de goma, así como sus propiedades y la incidencia de estas en la adhesión de los papeles para la fabricación de cajas y cartones. Luego se ensayarán diferentes formulaciones con las cuales se buscará trabajar con valores óptimos de viscosidad, porcentaje de sólidos y punto de gelatinización, para así lograr que la goma tenga la suficiente adherencia cuando se aplica en el papel.

C Definición de parámetros a medir

Viscosidad: En la industria del corrugado, el término viscosidad es usado para describir la fluidez de un adhesivo. La viscosidad se medirá con la copa Stein Love así: la copa se introduce en la mezcla hasta que la base se cubra por completo, luego se retirará la copa de la mezcla y se procede a activar el cronómetro, este se detiene cuando la mezcla llegue a la guía interna de la copa, dicho tiempo indicará la viscosidad de la goma.

Porcentaje de sólidos: se determina (Ec. 1) calculando el peso de los ingredientes no líquidos y dividiéndolo entre el peso de todos los ingredientes; por lo general se necesita entre 23% y 35% de sólidos para lograr una viscosidad óptima del adhesivo terminado.

$$\%Sólidos = \frac{\text{peso sólidos}}{\text{peso total}} \quad \text{Ec.(1)}$$

Temperatura de gel: es la temperatura a la cual el adhesivo empieza a espesarse y desarrollar sus propiedades de pegado. Para hallar el punto gel se toma una muestra de 100 ml de la goma en un beaker y se lleva a calentamiento con agitación constante y se registra la temperatura en la que la muestra cambia de fase, en donde los gránulos del almidón sufren un hinchamiento. Ya con la goma en punto de gel se leerá el porcentaje de sólidos con el refractómetro y se comparará con el porcentaje teórico de sólidos que debe poseer dicha muestra.

D Ensayo con la formulación estandarizada y toma de datos

Cuando estos parámetros estén cuantificados y la formulación estandarizada se realizan los ensayos de producción de la goma en la planta y con esto evaluar el producto terminado en los corrugadores, en los cuales se mide la humedad de las láminas de fibra sólida y la calidad de la adherencia entre papeles.

6 Resultados y Discusión

6.1 Análisis de la formulación de goma actual empleada en Indugevi S.A

Una vez definidas las variables relevantes en la fabricación de la goma y los valores que estas deben tomar, se hacen mediciones para caracterizar la formulación que Indugevi S.A ha venido empleando a lo largo de los últimos años (tabla 1).

Tabla 1

Formulación goma Indugevi S.A

Ingredientes	Peso (Kg)	Precio total (COP)
Agua	569	\$ 3.965,93
Almidón	125	\$ 497.187,50
Bórax	1,5	\$ 8.550,00
Soda	4,5	\$ 25.650,00
Costo por batch		\$ 535.353,43

Esta formulación estaba en los documentos de la compañía, la cual se viene empleando hace 8 años, dicha formulación tiene una viscosidad de 18 segundos, su punto gel es de 70°C y 23 % de sólidos (leídos con refractómetro). Se reemplazan valores en la *Ec.(1)* para calcular el % de sólidos con esta formulación se tiene:

$$\%Sólidos = \frac{(125 + (4.2/2) + 2)Kg}{(238 + 125 + 4.2 + 2) Kg} = \frac{129.1}{467.2} = 27.6\%$$

Se observa que el porcentaje de sólidos leído en el refractómetro se encuentra un poco alejado del cálculo matemático, por lo que se verifican los sistemas empleados para medir las cantidades añadidas al “batch”, estos son: tanques de agua 1 y 2, tanque soda y recipiente bórax.

Verificación tanque soda: el tanque de NaOH es llenado de manera automática y este se detiene cuando el nivel del líquido toca al sensor. El operario manifiesta que este sensor ha sido

manipulado en ocasiones anteriores; en primer lugar, se verifica que la concentración de la soda este al 50%. Se toma una muestra de 100 mL de NaOH la cual al ser pesada da 150.1 g.

$$\% p/p = \frac{\text{masa soluto}}{\text{masa solución}} \quad \text{Ec.(2)}$$

$$\text{masa soluto} = (\% p/p) \cdot \text{masa solución} = (0.5) \cdot (150.1g) = 75.05 g$$

Esto demuestra (usando la ecuación 2) que se está trabajando con la concentración de soda correcta. Para conocer la cantidad de NaOH con la que se está trabajando se llena el tanque hasta que llegue al sensor (2465 ml), al pesarlo se encuentra que son 3.7 Kg con los que se esta trabajando, 0.8 Kg menos que los que se tenían registrados.

Se decide dejar el sensor de la soda como se encuentra ya que se quiere trabajar con un porcentaje de solidos entre el 18 – 22 % lo que implicaría tener menor cantidad de almidón y, por ende, su temperatura de gelatinización descendería sin necesidad de añadir más NaOH.

Verificación recipiente del bórax: El rango óptimo de la viscosidad está entre (24s y 35s), lo que indica que 18 s es un valor muy bajo, este parámetro se ve afectado por la cantidad de bórax empleado, un aumento de esta sustancia en la formulación ayudaría a elevar la viscosidad de la goma. Al calcular la capacidad del recipiente donde se media el bórax se encuentra que este solo puede contener 1.5 de dicha sustancia, por ende, se decide usar un recipiente al que le quepa los 2Kg, lo que ayudaría aumentar la viscosidad del adhesivo.

Verificación tanques de agua: Por último, se cubican los tanques de agua 1 y 2.

Figura 4.

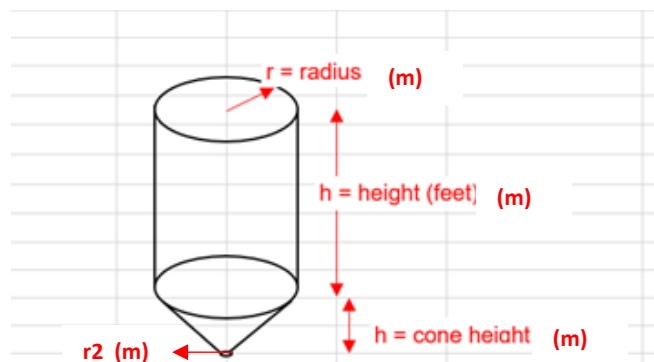
Tanques para la fabricación de goma en Indugevi SA.



El tanque 1 (donde se hace el Carrier) tiene un pin metálico que funciona como el sensor de nivel y que en el PLC indica que hasta ahí son 98 Kg. Para conocer la capacidad real de este tanque se llenó manualmente hasta dicho pin de manera con ayuda de un recipiente que tiene una capacidad de 16,25 Kg. En total para alcanzar el nivel del PIN se necesitó añadir 8 veces el contenido de dicho recipiente lo cual equivale a 130 Kg en total.

Figura 5.

Forma del tanque 2 a calcular



Para el tanque 2 se calcula el volumen del cilindro y del cono circular recto, la suma de estos dos será el volumen total del tanque (ecuaciones 3 – 5).

$$v_{tanque} = v_{cilindro} + v_{cono} \quad \text{Ec.(3)}$$

$$v_{cilindro} = \pi \cdot r_1^2 \cdot h \quad \text{Ec.(4)}$$

$$v_{cono} = \frac{\pi \cdot h}{3} \cdot [r_1^2 + r_2^2 + h(r_1 + r_2)] \quad \text{Ec.(5)}$$

Donde:

$$r_1: \text{radio cilindro}[m] = 0.42 \text{ m}$$

$$r_2: \text{radio menor de cono}[m] = 0.072 \text{ m}$$

$$h: \text{altura del cono circular recto}[m] = 0.145 \text{ m}$$

Reemplazando valores para hallar los volúmenes del cilindro y del cono en la ecuaciones (4) y (5), se tiene:

$$v_{cilindro} = \pi \cdot (0.54m)^2 \cdot 0.42m = 0.385 \text{ m}^3$$

$$v_{cono} = \frac{\pi \cdot h}{3} \cdot [r_1^2 + r_2^2 + r_1 + r_2]$$

$$v_{cono} = \frac{\pi \cdot 0.145m}{3} \cdot [(0.42m)^2 + (0.072m)^2 + 0.42m + 0.072m] = 0.05m^3$$

Para hallar el volumen del tanque se usa la ecuación (3), así:

$$v_{tanque} = 0.385 \text{ m}^3 + 0.05m^3 = 0.435 \text{ m}^3$$

Para conocer la masa de agua se multiplica el volumen hallado por la densidad del agua (Yaws, 2003) y se tiene que su capacidad es de 433 Kg.

Gracias a los cálculos anteriores se puede establecer las cantidades correctas que se estaban empleando en la formulación del adhesivo, esto sirve de punto de partida para empezar a ensayar la formulación con Coragum LS.

6.2 Producción y análisis de diferentes lotes de goma

Una de las cualidades del Coragum LS es su efectividad en formulaciones con bajas cantidades de sólidos. Se parte desde esta información con el objetivo de reducir el % de sólidos empleado. Se produjeron 5 lotes usando 100 Kg de Coragum, al finalizar la preparación de cada batch, se toma una muestra de 100 mL y se lleva al laboratorio allí se determinan los sólidos reales y la temperatura de gelatinización.

Batch 1: La formulación empleada para este batch es la siguiente, tabla 2:

Tabla 2.
Formulación batch 1

Sustancia	Cantidad [Kg]
Agua tanque 1	130
Coragum Carrier	15
Soda	4.2
Agua tanque 2	433
Coragum tanque 2	85
Bórax	2

Observaciones:

- El punto gel desciende a 66 °C.
- La viscosidad de la muestra es muy baja (14 segundos), lo cual da indicios que se debe aumentar el almidón en el Carrier.
- Luego de dos horas la viscosidad de la muestra desciende a 13 segundos, lo cual indica que ésta no sufre cambios significativos estando en reposo.

Batch 2: Aumento del Coragum LS del Carrier (tabla 3).

Tabla 3.

Formulación batch 2

Sustancia	Cantidad[Kg]
Agua tanque 1	98
Coragum Carrier	25
Soda	4.2
Agua tanque 2	258
Coragum tanque 2	75
Bórax	2

Observaciones:

- El punto gel es 66 °C.
- La viscosidad de la muestra es 44 segundos, lo cual indica que se le agregó mucho almidón al Carrier.

Batch 3: Reducción del Coragum en el carrier.

Tabla 4.

Formulación batch 3

Sustancia	Cantidad [Kg]
Agua tanque 1	98
Coragum Carrier	22
Soda	3.7
Agua tanque 2	258
Coragum tanque 2	78
Bórax	2

Observaciones:

- El punto gel es 67 °C y los sólidos reales son del 16%.
- La viscosidad de la muestra es 17 segundos; para el próximo lote se sugiere disminuir la cantidad de almidón en el Carrier.

Batch 4: Ensayos con 20 Kg en el Carrier.

Tabla 5.

Formulación batch 4

Sustancia	Cantidad [Kg]
Agua tanque 1	98
Coragum Carrier	20
Soda	3.7
Agua tanque 2	238
Coragum tanque 2	80
Bórax	2

Observaciones:

- El punto gel es 67 °C y los sólidos reales estaban entre 17 y 18%.
- La viscosidad de la muestra es 31 segundos.

Batch 5: Ensayos con 18 Kg de Coragum en el Carrier.

Tabla 6 .

Formulación batch 5

Sustancia	Cantidad [Kg]
Agua tanque 1	98
Coragum Carrier	18
Soda	3.7
Agua tanque 2	238
Coragum tanque 2	82
Bórax	2

Observaciones:

- El punto gel es 66 °C y los sólidos reales estaban entre 17 y 18%.
- La viscosidad de la muestra es 28 segundos.
- Formulación escogida para ser usada en el corrugador de cartón compacto.

6.3 Aplicación de dos lotes de goma producidos con Coragum LS

Una vez establecida la formulación que cumple con los valores óptimos de viscosidad, punto de gel y porcentaje de sólidos (Formulación batch 5), se evaluó el comportamiento de esta en el corrugador de cartón compacto y por lo cual se fabrican 2 lotes de goma con un % de sólidos entre 16-18, una viscosidad de 28 s. Allí la velocidad a la que normalmente opera este corrugador es 31.5 m/min y la humedad de la lámina es de 13.7%. Los datos obtenidos en el dicho corrugador son:

Tabla 7.

Datos del corrugador de cartón compacto cuando se emplea Coragum LS en la formulación del adhesivo.

Hora	%Humedad lámina	Velocidad corrugador [m/min]
11:00	13,85	30,9
11:15	10,92	31,3
11:35	10,42	30,5
11:50	11,2	30,8
12:15	11,47	32,2
12:45	12,7	31,6

Los datos obtenidos cumplen con los parámetros que se necesitan, ya la que la humedad máxima que puede tener una lámina de cartón es del 14% y se observa que el valor más elevado de dicho parámetro fue de 13.85%. A esta lamina se le hace seguimiento y se encuentra que con un tiempo de reposo de una hora la humedad llega a 10.4%, este resultado es satisfactorio para el ensayo. También se comprueba la adherencia de papeles, siendo este un parámetro cualitativo que se evalúa cuando se trata de despegar las capas de papel, y al hacerlo se queda fibra de estas en la capa que se intentó separar, al aplicar esto se obtiene una buena adherencia.

6.4 Cálculo precio de un lote de goma producidos con Coragum LS

Tabla 8.*Formulación goma con Coragum LS desarrollada para Indugevi S.A.*

Ingredientes	Peso (Kg)	Precio total (COP)
Agua	569	\$ 3.965,93
Coragum LS	100	\$ 478.590,00
Bórax	2	\$ 11.400,00
Soda	3,7	\$ 9.990,00
Costo por batch		\$ 503.945,93

Se compara los valores que cuesta fabricar un lote de goma con Coragum LS con los obtenidos en la tabla 1 y se observa que se tendría un ahorro del 5,87% por batch producido de adhesivo, este valor es significativo ya que por ejemplo en año 2021 Indugevi S.A necesitó fabricar 1.266 lotes de goma.

7 Conclusiones

Las verificaciones en los sistemas de medida en Indugevi S.A sirven para comprobar que estos mismos estaban alejados de la realidad, para los tanques del agua por ejemplo se tiene que se usan 237 Kg de más en comparación con los reportados en el manual de la goma que maneja la compañía. Estos resultados influyen directamente en el porcentaje de sólidos del adhesivo, lo que se evidencia con una disminución en el valor de esta variable.

Pese a que la formulación desarrollada en el presente trabajo posee una cantidad baja de sólidos, esta tiene un comportamiento óptimo al aplicarse en el corrugador de fibra sólida, donde las láminas producidas manejan humedades menores al 14%. Esto se debe a que el Coragum LS fue diseñado para trabajar con bajas cantidades de sólidos sin perjudicar la adherencia entre los papeles y conservando parámetros adecuados de viscosidad, temperatura gel y humedad de las láminas.

Implementar el Coragum LS como sustituto del almidón de maíz en la formulación de la goma para el corrugador de cartón compacto, implica un ahorro del 5.85% en el costo de la materia prima; en el año 2021 se fabricaron 1.266 lotes para dicha máquina, si se aplica el precio que se halló con la nueva formulación el ahorro anual equivaldría a \$39.761.895.

8 Recomendaciones

La variable humedad de las láminas de cartón compacto se ve afectada por la velocidad de la máquina, ya que la goma contiene un bajo porcentaje de sólidos, esto hace que la lámina tiende a mojarse y arquearse, por tal motivo se recomienda aumentar 25 Kg de Coragum LS en la formulación, esto implica un mayor costo de cada lote fabricado, pero garantizaría un mayor porcentaje de sólidos (21%), lo que ayudaría a ganar velocidad en el corrugador de fibra sólida. Para comprobar lo anterior se recomienda realizar varios lotes con la formulación sugerida y calcular la productividad de la máquina.

Indugevi S.A posee dos corrugadores más, los cuales usan almidón de maíz en la formulación de la goma y sería de gran utilidad hacer pruebas con la formulación de Coragum LS encontrada y comprobar si esta también funcionará en dichas máquinas, eso si garantizando que variables como viscosidad, temperatura de gel y porcentaje de sólidos tengan valores óptimos.

Comprobar con frecuencia los sistemas que se usan para medir la cantidad de las sustancias que se requieren en la formulación de la goma, ya que como se evidenció, estos sistemas estaban alterados.

Referencias.

- Carrascal, F. (2005). Obtención de dextrinas de alta solubilidad y mínima retrogradación a partir de almidón industrial de yuca. *Universidad Industrial de Santander*, 2, 74.
- Diaz, L., & Fiallos, F. (2011). *Obtención de un nuevo adhesivo a partir de almidón modificado de maíz para la industria cartonera Ecuatoriana*. 247.
- Ingredion TM. (2022). *CORAGUM LS 3147*.
- Ingredion TM. (2016). *Manual de almidón y aditivo para cartón corrugado*. 58.
- Olari, J. (2013). El adhesivo y su importancia en la eficiencia del proceso. *La Revista Del Corrugado Edición Primavera*. https://issuu.com/cafcco/docs/la_revista_del_corrugado_-_edici__n/22
- Santis Correa, W. L. (2022). *Sustitución del almidón de maíz en la formulación del adhesivo usado en la industria cartonera*. Universidad de Antioquia, Medellín.
- Steichen, R. E., & Louis, J. (2014). *Composición adhesiva mejorada*.
- Yaws, C. L. (2003). Yaws' Handbook of Thermodynamic and Physical Properties of Chemical Compounds. In *Knovel (Chemistry & Chemical Engineering)*. <http://app.knovel.com>