

2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL

DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA EL RECICLAJE QUÍMICO DE LA GOMA DE MASCAR: PRODUCCIÓN DE UN POLÍMERO CON NUEVAS APLICACIONES INDUSTRIALES

**Steven Huertas Cardenas, Daniel Rojas Méndez, Mischel Stefany Toro Santos,
Isabel Cristina Castellanos Cuellar**

**Universidad EAN
Bogotá, Colombia**

Resumen

Este trabajo presenta un primer reporte en la producción de un nuevo plástico con propiedades promisorias para la industria, a partir de goma de mascar generando nuevas alternativas de uso y la re inserción de este residuo en la cadena de producción.

El entrecruzamiento de cadenas poliméricas de la goma de mascar fue el proceso realizado para el reciclaje. Se evaluaron dos agentes de curado y relleno: Caolín y grafito para la obtención de dos materiales completamente diferentes en términos de elasticidad y textura. De las propiedades físicas de los materiales obtenidos se destaca: La capacidad retardante de llama, baja conductividad eléctrica y baja o nula solubilidad en diferentes solventes polares y no polares. La producción de este nuevo plástico enmarca una alternativa ambientalmente sostenible y con una aplicación benéfica en un marco social.

Palabras clave: entrecruzamiento; goma de mascar; reciclaje químico, ATR-IR

Abstract

This research presents a first report to the production of a new kind of plastic with promising properties for the industry from chewing gum for to generate a new alternatives of using and reinserting this waste into the production line.

The cross-linking of polymeric chains of the chewing gum was the process selected for recycling. Two curing and filling agents were evaluated: Kaolin and graphite. We obtained two completely different materials in terms of elasticity and texture. The physical properties that sticks out were: The flame retardant capacity, low electrical conductivity and low or nule solubility in different polar and non-polar solvents. The production of this new plastic frames a sustainable environmentally alternative and with a beneficial application in a social framework.

Keywords: *cross-linking; chewing gum; chemical recycling, ATR-IR*

1. Introducción

La goma de mascar es uno de los residuos contaminantes que ha tomado importancia actualmente, por su producción a gran escala. No obstante, por su naturaleza y uso, el consumidor frecuentemente la desecha en lugares no apropiados, generando por tanto espacios públicos contaminados que requieren un alto costo para la limpieza del desecho mencionado.

Aunque las proporciones de residuos de la goma de mascar suponen menores valores comparados con otros residuos; un estudio realizado por el diario La República, registra que un colombiano consume cerca de 70 chicles al año (Suárez, 2016), lo que a su vez, ha conllevado a que se retiren en aproximación 900 chicles masticados por cada 5 metros cuadrados de suelo (López, 2019). Teniendo en cuenta que un chicle tarda en degradarse aproximadamente 5 años (Santa Cruz, 2016) su acumulación engloba de una parte, problemas de salud; un chicle, puede llegar albergar hasta una cantidad de 10000 bacterias o microorganismos (López, 2019) y de otra parte, los problemas sociales que promueven las zonas sucias en las ciudades.

En términos generales la goma de mascar está compuesta por 60% sacarosa o edulcorantes, 20% jarabe de maíz, y por último un 20% de goma base. La goma base puede variar su constitución de acuerdo a los fines fabricantes, entre un 40% de suspensión acuosa coloidal (látex natural), 50% entre gomas y resinas tales como el SBR y el acetato de polivinilo, 8% de carbonato de calcio (CaCO_3), y 2% de lípidos como ceras y grasas. (Historias y Biografías, 2015).

La vulcanización es un proceso químico consolidado para mejorar las propiedades mecánicas del material polimérico mediante la reticulación del azufre con las cadenas de polímeros. El azufre es un agente de vulcanización lento, que no vulcaniza poliolefinas sintéticas; incluso para la vulcanización del caucho natural es necesario el uso de grandes cantidades de azufre, altas temperaturas y largos períodos de calentamiento para eficiencias de entrecruzamiento aún insatisfactorios, con propiedades de resistencia y de envejecimiento insuficientes. Por tanto, sólo con acelerantes de vulcanización es posible obtener calidades adecuadas.

El control de las reacciones cruzadas de azufre (Sitisaiyidah Saiwari, et al., 2019) para obtener la mejor estructura de red de polímeros, solicita firmemente un diseño de compuestos reticulados de caucho que mejore el rendimiento de la reacción con la reducción del consumo de energía, las emisiones de gases, el tiempo de reacción y el consumo de reactivos ha hecho son necesario un gran número de aditivos, que actualmente se conocen como "paquete de cura" o sistema de

vulcanización, entre ellos el zinc y el STA (Ácido esteárico) que han mostrado tanto por enfoques experimentales como computacionales, que, a alta temperatura (140 °C), el complejo catalítico formado, desempeña un papel importante en la promoción de la formación de puentes de sulfuro corto (A.Susanna, et al., 2017). La acción de ZnO en asociación con ácidos grasos, permite que los centros Zn (II), producidos por la interacción ZnO con STA formen derivados organometálicos que reaccionan con el azufre dando polisulfuro de Zn (complejos aceleradores), que desempeñan un papel crucial en las reacciones de vulcanización.

Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es la realización de estudios exploratorios para la reinserción de la goma de mascar desechada a la cadena productiva con la generación de un nuevo plástico de aplicación industrial por entrecruzamiento de las cadenas poliméricas lineales del residuo inicial.

2. Metodología

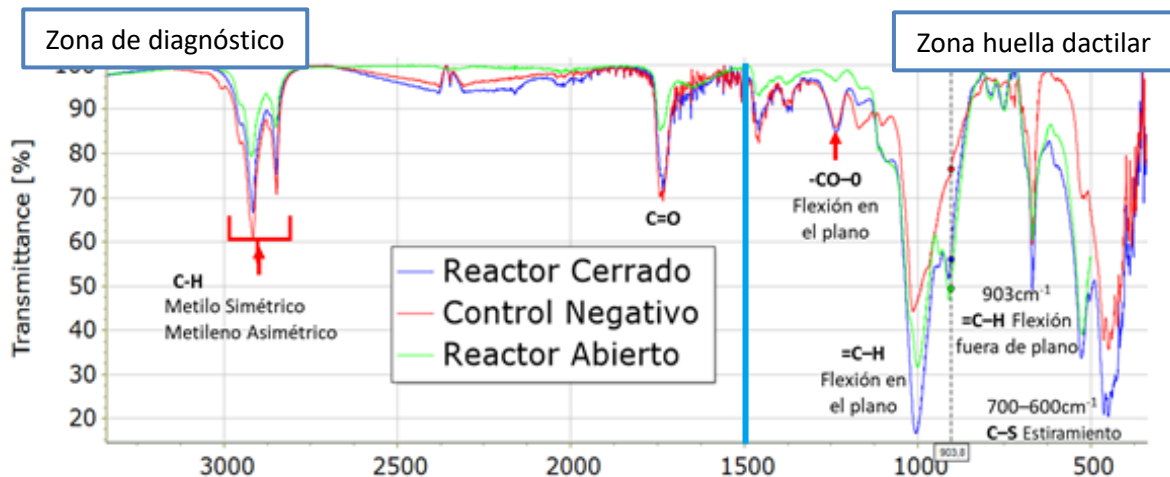
El proceso global llevado a cabo para la goma de mascar (posterior a su reciclaje y respectiva desinfección), fue la vulcanización, la cual se realizó a una temperatura de 140°C en un tiempo estándar de 4 horas, en dos tipos de reactores (sistema abierto y sistema cerrado). Durante el proceso de entrecruzamiento se analizaron dos agentes de relleno y curado: Grafito y Caolín a concentraciones de 60% en peso sobre la masa de goma de mascar. Los productos y reactivos en cada proceso de vulcanizado fueron caracterizados por espectrofotometría de infrarrojo con transformada de Fourier acoplado a reflectancia total atenuada (ATR-IR) en un equipo Shimadzu IRTracer-100 con un rango de análisis entre 340 y 4700 cm^{-1} , una resolución de 2 cm^{-1} y 32 scans. Además, se realizaron pruebas de solubilidad para ambas muestras, en solventes con diferentes niveles de polaridad. Lo anterior, con el enfoque de observar la capacidad de las mismas para disolverse y obtener una referencia respecto a un posible hinchamiento de los dos productos. Así mismo, se desarrollaron pruebas de conductividad térmica, donde se pusieron en contacto las 2 muestras con una fuente de llama, analizando de tal manera la resistencia de estas frente al gas en combustión

3. Resultados y análisis

A través de la espectrofotometría infrarroja se analizaron y caracterizaron los cambios químicos generados durante el proceso de entrecruzamiento de los polímeros del chicle, ya que este método analítico permite identificar grupos funcionales mediante la absorción de luz a un número de onda específico (eje x, en el espectro) con una intensidad que se refleja en el porcentaje de transmitancia (eje y) que es proporcional al número de moléculas presentes de acuerdo a la ley de Lambert Beer. Un espectro IR en términos generales se divide en dos zonas: La primera, llamada zona de diagnóstico permite identificar ciertos grupos funcionales presentes en la estructura molecular del compuesto(s), y la segunda, llamada zona de huella dactilar es característica para cada molécula, de allí su nombre. En este orden de ideas es posible analizar los cambios estructurales entre los

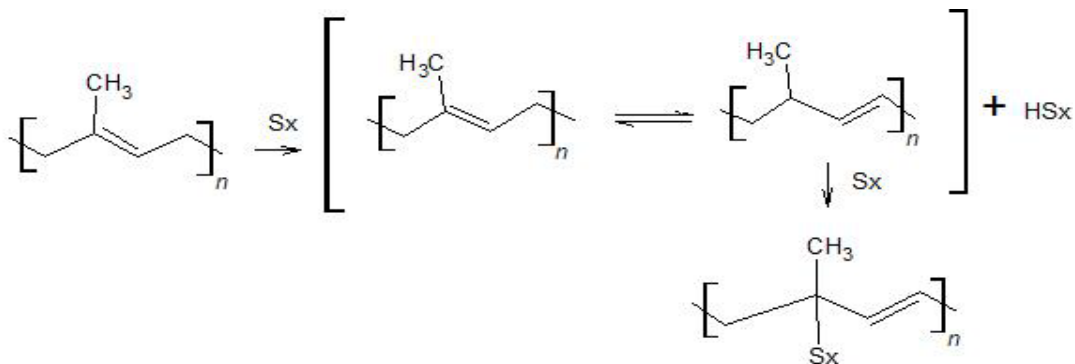
reactivos y productos de una reacción química. Particularmente durante las reacciones estudiadas se encontraron dos productos diferentes al usar dos agentes de curado distintos: Caolín y grafito, como se muestra en las figuras 1 y 2.

Figura 1. Proceso de vulcanizado con caolín como agente de curado. Espectro ATR-IR para la reacción sin azufre (Control negativo: Línea roja), para la reacción con azufre llevada a cabo en un reactor cerrado (reactor cerrado: Línea azul), y para la reacción llevada a cabo en un reactor abierto: Línea verde). Equipo Shimadzu IRTracer-100 con un rango de análisis entre 340 y 4700 cm^{-1} , una resolución de 2 cm^{-1} y 32 scans.



Las señales generadas por cambios en el momento dipolar de los diferentes enlaces muestran la aparición de una banda en 903 cm^{-1} en la zona característica del =C-H que sugiere un cambio de posición del doble enlace en uno de los polímeros presentes, posiblemente el poliisopreno o similar, como paso obligado; por la naturaleza del proceso de reacción de entrecruzamiento con azufre como se esquematiza en el esquema 1

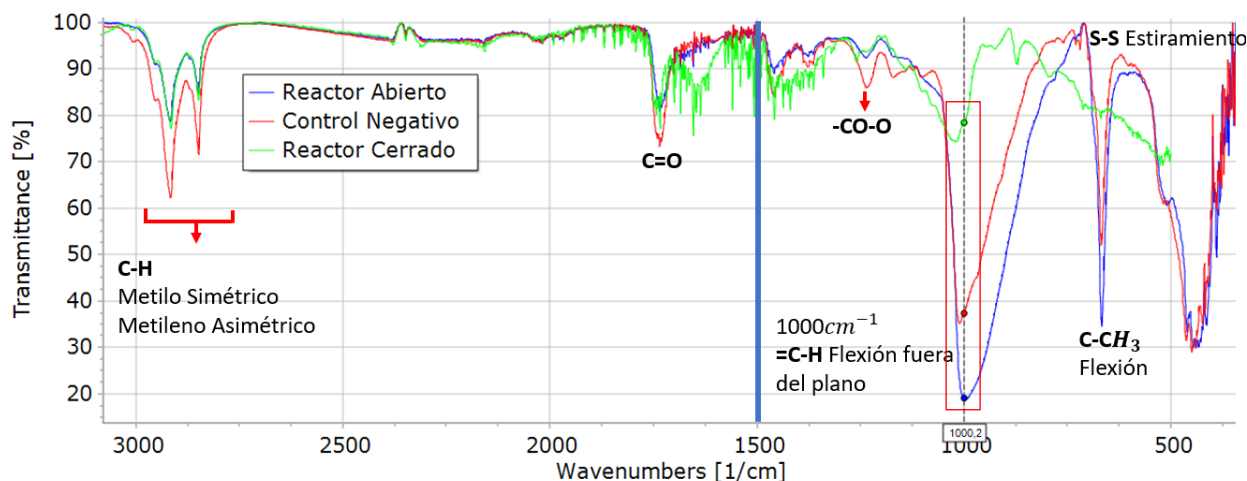
Esquema 1. Reacción de entrecruzamiento de cadenas lineales de poliisopreno o similares en la goma base durante el proceso de vulcanizado. Software ChemSketch.



El planteamiento se realiza teniendo en cuenta las diferencias de intensidad de las bandas entre el control negativo y el reactor cerrado-abierto (tabla 1). Adicional a la aparición de la señal en 903 cm^{-1} se observa un aumento de intensidad en las señales de la zona del espectro entre 700-

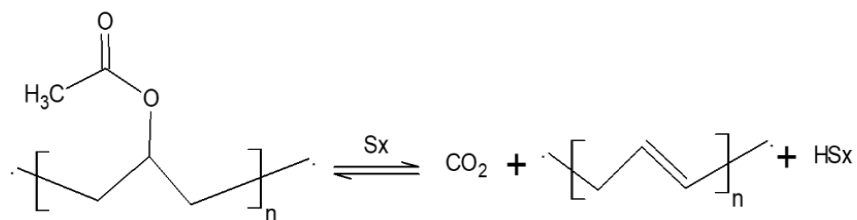
600 cm^{-1} , zona donde de manera característica es posible entre otros identificar cambios en el momento dipolar de enlaces como **C-S** lo que concuerda con una mayor presencia de estos por entrecruzamiento de cadenas, mayor en el reactor cerrado, obteniendo así un polímero vulcanizado con propiedades diferentes cuando la reacción es realizada en el reactor cerrado versus el producto obtenido en el reactor abierto.

Figura 2. **Proceso de vulcanizado con grafito como agente de curado.** Espectro ATR-IR para la reacción sin azufre (Control negativo: Línea roja), para la reacción con azufre llevada a cabo en un reactor abierto (reactor cerrado: Línea azul), y para la reacción llevada a cabo en un reactor cerrado: (Línea verde) reacción Equipo Shimadzu IRTracer-100 con un rango de análisis entre 340 y 4700 cm^{-1} , una resolución de 2 cm^{-1} y 32 scans.



Por otro lado con la utilización de grafito como agente de curado los cambios observados en el espectro ART-IR fueron diferentes. Se resalta una disminución en la intensidad de las señales (aumento en la transmitancia) en 1735 cm^{-1} de C=O y en 1234 cm^{-1} de CO-O característicos de grupos ester, posiblemente de acetato polivinílico componente mayoritario de la goma base. Este aumento en la transmitancia puede ser ocasionado por la oxidación del grupo ester hasta dióxido de carbono, que da origen a un doble enlace que se confirma con la disminución en la transmitancia en 1000 cm^{-1} . La reacción se representa en el esquema 2.

Esquema 2. Reacción de oxidación de cadenas lineales de acetato de polivinilo en la goma base durante el proceso de vulcanizado. Software ChemSketch.



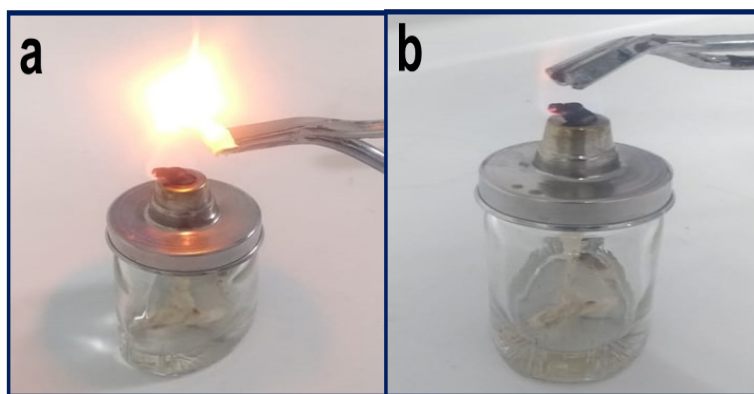
El proceso de oxidación del polivinil acetato es planteado como una reacción en equilibrio químico, en la cual el ester es oxidado hasta CO_2 gaseoso. En el proceso realizado en el reactor abierto, el CO_2 permanece dentro de la estructura del material final que aumenta su volumen y resulta en una textura espumada y rígida con propiedades retardantes de llama como se muestra en la figura 3. En el proceso llevado a cabo en el reactor cerrado, el producto mostró una textura firme sin cambios apreciable de volumen, en este proceso el dióxido de carbono a medida que avanzaba la reacción se concentró en el reactor, promoviendo el proceso de regeneración de reactivos acorde con la ley de Le chatelier en el equilibrio químico, razón por la cual no se observa una disminución apreciable en la transmitancia de las señales 1735cm^{-1} y 1234cm^{-1} .

Tabla 1. Consolidado de los mayores cambios en la transmitancia de los espectros ATR-IR del proceso de vulcanizado usando dos agentes de curado diferentes (Caolín y grafito) y dos tipos de reactores diferentes.

Agente de Curado	Caolín				Grafito			
Número de onda (cm^{-1})	2919	1743	903	688	2917	17351	1234	1000
Asignación	C-H	C=O	=C-H	C-S	C-H	C=O	-CO-O	=C-H
Control Negativo	61,79%	70,33%	76,73%	85,08%	62,44%	74,03%	86,04%	36,92%
Reactor Abierto	67,62%	76,34%	56,07%	79,65%	78,81%	81,31%	92,53%	19,11%
Reactor Cerrado	79,57%	85,36%	49,46%	77,03%	77,76%	80,74%	93,91%	78,44%

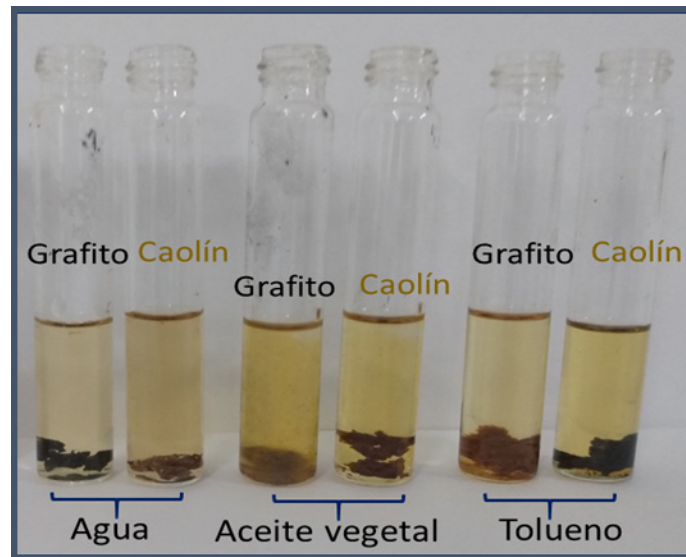
Según (Flores, 2012) el proceso de entrecruzamiento es posible en hidrocarburos insaturados y como se muestra en el esquema 2, el acetato polivinílico carece de estos en sus monómeros, pero tras esta reacción de oxidación del polivinil acetato se obtiene un polímero insaturado con dobles enlaces disponibles para la reacción de entrecruzado con azufre, identificados con el aumento de intensidad de la banda en 1000 cm^{-1} (Reactor abierto), mientras que en el reactor cerrado debido a la imposibilidad de una expansión en el volumen del producto oxidado por la presión ejercida en el reactor (7,018 KPa, calculada manualmente a través del cálculo de la fuerza ejercida por el reactor en la superficie de contacto de la muestra) las reacción de reticulación probablemente está ocurriendo por el entrecruzamiento de cadenas de polímeros diferentes al acetato de vinilo. El resultado dos plásticos diferentes.

Figura 3. Análisis de respuesta del producto obtenido por vulcanización usando un reactor abierto y dos agentes de curado diferentes: **a**. Caolín **b**. Grafito.



El comportamiento de los plásticos frente al contacto con solventes de diferente polaridad es de vital importancia al momento de su aplicación industrial por ello fueron realizados ensayos cualitativos de solubilidad en solventes como agua, aceite vegetal y tolueno, encontrando que los elastómeros obtenidos tanto con caolín como con grafito en el reactor abierto no mostraron solubilidad ni procesos de hinchamiento (Figura 4).

Figura 4. Comportamiento cualitativo de los polímeros obtenidos en el reactor abierto frente al contacto con solventes de diferente polaridad.



4. Conclusiones

El proceso de entrecruzamiento de los polímeros lineales de la goma de mascar es un conjunto complejo de reacciones de oxidación para la generación de CO₂ y dobles enlaces reticulables con azufre. Una posible aplicación industrial inmediata del producto obtenido es como aditivo en diferentes productos plásticos gracias a sus propiedades como retardante de llama, baja solubilidad y mayor dureza respecto al producto inicial.

Referencias

Fuentes electrónicas

- A.Susanna, M.D'Arienzo, Credico, B., L.Giannini, T.Hanel, R.Grandori, . . . R.Scotti (2017, Agosto). Catalytic effect of ZnO anchored silica nanoparticles on rubber vulcanization and cross-link formation. Consultado en agosto de 2017 en doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.05.029>
- Flores, R. H. (septiembre de 2012). Estudio reológico y cinética de hinchamiento de mezclas elastoméricas entrecruzadas con peróxidos. Consultado en septiembre de 2012 en <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/122>

- Historia y Biografías. (2015, mayo). Historia y composición del chicle o goma de mascar: La goma de mascar y su mercado. Consultado el 09 de mayo de 2019 en <https://historiaybiografias.com/chicle/>
- Hules y Plásticos de México. (s.f.). Consultado el 10 de junio 2019 en <https://hulesyplasticosdemexico.es.tl/Los-Pol%EDmeros-en-la-fabricaci%F3n-de-chicles.htm>
- López, L. (2019, febrero). Este viernes, maratón contra los residuos de chicle. Consultado el 24 de abril de 2019 en <https://www.cronicadelquindio.com/noticia-completa-titulo-este-viernes-maraton-contra-los-residuos-de-chicle-cronica-del-quindio-nota-127654>
- Saiwari, S., Yusoh, B., & Thitithammawong, A. (2019). Journal of Polymers and the Environment, 1-9. Consultado el 07 de marzo de 2019 en <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10924-019-01413-2>
- Santa Cruz de Tenerife. (2016, agosto). Los chicles tardan cinco años en degradarse y acumulan miles de gérmenes. Consultado el 28 de febrero 2019 en <https://www.santacruzlimpia.info/index.php/blog/item/291-los-chicles-tardan-cinco-anos-en-degradarse-y-acumulan-miles-de-germenes>
- Suárez, M.C. (2016, julio). Un colombiano consume 70 chicles al año. Consultado el 24 de abril de 2019 en <https://www.larepublica.co/empresas/un-colombiano-consume-70-chicles-cada-ano-2401276>

Sobre los autores

- **Steven Huertas Cárdenas:** Estudiante de ingeniería química, Universidad EAN. shuerta52029@universidadean.edu.co
- **Daniel Rojas Méndez:** Estudiante de ingeniería química, Universidad EAN. drojasm30899@universidadean.edu.co
- **Mischel Stefany Toro Santos:** Estudiante de ingeniería química, Universidad EAN. mtorosa91317@universidadean.edu.co
- **Isabel Cristina Castellanos Cuellar:** Química, Máster en Ciencias Bioquímica. Docente Asociado Universidad EAN. iccastellan@universidadean.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)