

PROPUESTA DE RECONVERSIÓN ENERGÉTICA PARA LA EMPRESA
“PLÁSTICOS P & C “EN EL PROCESO DE INYECCIÓN PARA LA FABRICACIÓN
DE ACCESORIOS DE PVC DE USO SANITARIO

LAURA PINZÓN MORENO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C

2022

PROPUESTA DE RECONVERSIÓN ENERGÉTICA PARA LA EMPRESA
“PLÁSTICOS P & C “EN EL PROCESO DE INYECCIÓN PARA LA FABRICACIÓN
DE ACCESORIOS DE PVC DE USO SANITARIO

LAURA PINZÓN MORENO

Trabajo de grado para la opción Curso de profundización en Eficiencia Energética

Director

DARWIN MENA RENTERIA

Ingeniero Ambiental y Sanitario
Especialista en Gestión Ambiental
Magister en Evaluación de Recursos Hídricos

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C

2022

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	6
2. INTRODUCCIÓN	7
3. DIAGNÓSTICO	9
3.1. DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS	10
3.2. INYECCIÓN DE PVC.....	12
3.3. CONSUMOS DE ENERGÍA.....	13
3.4. MARCO LEGAL	16
4. PROPUESTAS Y POSIBILIDADES DE RECONVERSIÓN ENERGÉTICA	17
4.1. ACEITE HIDRÁULICO.....	17
4.2. AISLANTE TÉRMICO	19
4.2.1. LEY DE FOURIER	19
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
6. BIBLIOGRAFÍA	26

Lista de Tablas

Tabla 1. Consumos y costos totales.....	14
Tabla 2. Comparación del estado del aceite hidráulico y su rendimiento antes y después	17
Tabla 3. Códigos de limpieza del aceite hidráulico	18
Tabla 4. Medición de la temperatura externa del barril.....	20
Tabla 5. Pérdidas y costos de energía sin aislante	23
Tabla 6. Ahorro del costo de la energía con aislante.....	24
Tabla 7. Pérdidas y costos de energía sin aislante	25
Tabla 8. Ahorro del costo de la energía con aislante.....	25

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación de la empresa y fachada	8
Figura 2. Plano del área de producción.....	9
Figura 3. Plano de la zona administrativa y de contabilidad.....	10
Figura 4. Fotografía ficha técnica de la máquina Borsche.....	14
Figura 5. Fotografía de la máquina de inyección Borsche... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 6. Modelo de una máquina de inyección ¡Error! Marcador no definido.	

1. RESUMEN

El objetivo del proyecto realizado es el desarrollo de una propuesta de eficiencia energética aplicada a la empresa productora de accesorios sanitarios de PVC "Plásticos P & C", ubicada en el barrio Carvajal en la ciudad de Bogotá. Se realizó inicialmente un diagnóstico de los consumos de energía actuales de la empresa durante un periodo de 6 meses, para lo cual se tuvo en cuenta la identificación de la etapa o proceso que está generando un consumo de energía significativo. De acuerdo al diagnóstico inicial se identificó que la actividad o proceso de Inyección representa un alto consumo energético con respecto a los otros procesos, teniendo en cuenta la identificación del proceso se realizaron las estimaciones de consumo de energía mensual, así mismo los costos de consumo, e identificación de técnicas o tecnologías aplicadas en la inyección del PVC, debido al importante aporte que repercute en este proceso en el alto consumo de energía con respecto a los demás procesos que se desarrollan dentro de la empresa. Por consiguiente, realizado el diagnóstico se plantearon una serie de modificaciones técnicas, que demostraron una reducción del 36 % de consumo de energía, que adicionalmente pudo relacionarse con una cantidad de Ton de CO₂ evitadas mediante la implementación de la propuesta.

ABSTRACT

The objective of the project carried out is the development of an energy efficiency proposal applied to the company that produces PVC sanitary accessories "Plásticos P & C" company located in the Carvajal neighborhood in the city of Bogotá. An initial diagnosis of the current energy consumption of the company was carried out during a period of 6 months, for which the identification of the stage or process that is revealing a significant energy consumption was taken into account. According to the initial diagnosis, it was identified that the activity or injection process represents a high energy consumption with respect to the other processes, taking into account the identification of the process, the estimates of monthly energy consumption were made, as well as the costs of consumption, and identification of techniques or technologies applied in the injection of PVC, due to the important contribution that affects this process to the high energy consumption with respect to the other processes that are developed within the company. Therefore, the diagnosis was made, a series of technical modifications were proposed, which showed a 36% reduction in energy consumption, which could additionally be related to an amount of CO₂ Tons avoided by implementing the proposal.

2. INTRODUCCIÓN

El Poli cloruro de vinilo o más conocido como PVC, es un plástico que cumple una extensa gama de aplicaciones a nivel mundial, esto debido a las distintas propiedades que desempeña favoreciendo la relación costo beneficio, ya que es un material duradero y económicamente accesible (ANIQ, 2004).

Las aplicaciones más comunes y de mayor uso está la producción de tuberías y accesorios hidráulicos. La industria de tuberías de PVC (policloruro de vinilo) en Colombia dentro de su amplia gama de aplicaciones tiene una participación considerable desde el sector industrial y doméstico, debido a las diversas particularidades que posee como aislante, y altamente transformable o flexible. Conforme a sus propiedades se destina en mayor medida en la implementación de tuberías y cañerías dentro de la industria de construcción, corresponde a un 7% de participación dentro de la industria del plástico (ACOPLÁSTICOS, 2020). De acuerdo al Boletín emitido por ACOPLASTICOS, para 2021 la cantidad de toneladas de PVC transformadas en Bogotá es de 419 ton/mes, adicionalmente la actividad productiva de PVC tiene un aporte importante en el sector económico debido a la exportación de distintos productos de PVC en países como Bolivia, México, Perú, entre otros (ACOPLÁSTICOS, 2020).

En el proceso de fabricación de las tuberías de PVC se tiene como materia prima: la resina (policloruro de vinilo), estabilizantes térmicos cuya finalidad es preservar la durabilidad del PVC en el proceso de inyección donde se alcanzan altas temperaturas, lubricantes los cuales cumplen un papel importante en la fabricación del PVC debido a que facilitan la fluidez de las partículas del PVC en el proceso de fundición, y otras materias primas como lo son el dióxido de titanio son utilizados para generar un producto de mejor calidad y durabilidad (Sisniega, 2010). Durante la actividad productiva para producir las piezas, el PVC pasa a través de una serie de transformaciones fisicoquímicas, teniendo en cuenta el amplio campo de aplicación que esta serie de productos tiene y su demanda, el nivel de consumo de energía supone una variable importante dentro de esta industria, debido a que a lo largo de su transformación cada proceso y operación demandan una cantidad determinada de energía eléctrica, Por lo cual el aporte del GEI contribuye en mayor medida desde el desarrollo de los productos, en relación al tiempo de operación que es proporcional a la demanda y el uso de maquinaria que no cumple con reacondicionamientos adecuados que minimicen el alto consumo de energía eléctrica. (UPME, 2015)(GEI) (Jhonson & Pereira, 2011).

Uno de los procesos con el mayor consumo de energía es el de inyección debido a que es un proceso que generalmente es continuo, es decir se mantiene en funcionamiento durante varias horas al día, y teniendo en cuenta la alta demanda de los productos de PVC en el mercado se convierte en un factor importante del consumo de energía, por lo tanto, los gastos asociados al consumo de energía dentro de la industria son considerables (Mobil, 2019). El significativo consumo de energía se debe a que en la actualidad se siguen usando máquinas inyectoras con tecnologías convencionales, que a comparación de las máquinas actuales poseen un rendimiento menor, tanto a nivel productivo como en consumos de energía (Berengena, 2016).

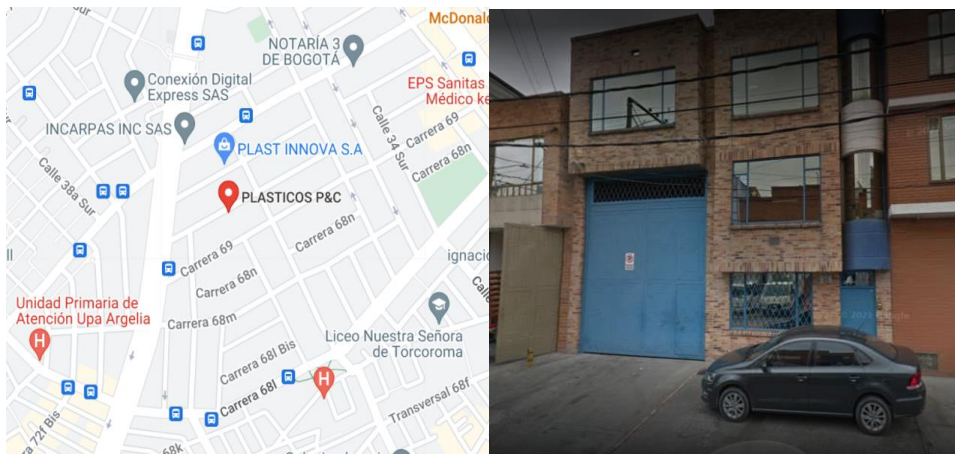
Al ser cada vez mayor el aporte a emisiones del GEI y la constante preocupación medioambiental por la disminución en el consumo energético se recurren a distintas medidas, cambios técnicos, tecnológicos y operacionales para favorecer la eficiencia del proceso. Las máquinas de inyección más actualizadas cuentan con un sistema de servomotores, una clase de motores que regulan el consumo energético, de presión, y temperatura (Itoplas, 2018). Una de las desventajas que posee este tipo de máquinas en las que ya viene implementado este sistema es el alto costo de inversión. Por ende, muchas empresas optan por otro tipo de sistema que de igual manera genera una reducción de consumos mediante la implementación de un variador de frecuencia y un “PLC” o tablero de control, dispositivo programado para la realización de tareas específicas, en conjunto ambos llegan a realizar una optimización energética y suponen un costo de inversión menor en comparación al del servomotor (Berengena, 2016). La eficiencia energética es de gran importancia en este sector productivo debido a la generación de beneficios económicos, operativos y ambientales que trae consigo la implementación de tecnologías, medidas o buenas prácticas operacionales. Una de las empresas más importantes a nivel nacional en este sector es Gerfor S.A, la cual logró para 2021 una reducción de más de 186 kWh al año mediante el reemplazo de elementos en su maquinaria, para lo cual se tuvo un aproximado en reducción de 70,9 ton de CO₂ anuales (Colombia productiva, 2021).

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, el actual trabajo se fundamenta en el diagnóstico energético de específicamente el proceso de inyección, mediante el cual se busca el desarrollo de una propuesta de eficiencia energética que mantenga un nivel de productividad favorable para la empresa y la viabilidad de beneficios económicos para la misma, adicionalmente la disminución en el aporte de toneladas de CO₂.

3. DIAGNÓSTICO

La empresa productora de accesorios sanitarios de PVC “PLÁSTICOS P & C”, es una empresa fundada en 1999, ubicada en la ciudad de Bogotá, barrio Carvajal UPZ de la localidad de Kennedy, dirección carrera 69 bis 37B-81 Sur. Tiene como actividad principal la manufactura de elementos plásticos, y el tipo de organización es de Sociedades por Acciones Simplificadas (SAS). El barrio Carvajal cuenta con una gran influencia del sector productivo de plásticos, que de acuerdo al Centro de Investigaciones para el Desarrollo (CID) para 2012 gran parte de la concentración de productores de plásticos se concentraban en los sectores de Carvajal, Corabastos y Quiroga (Sanchez, 2015).

Figura 1. Ubicación de la empresa y fachada



Fuente: Google maps

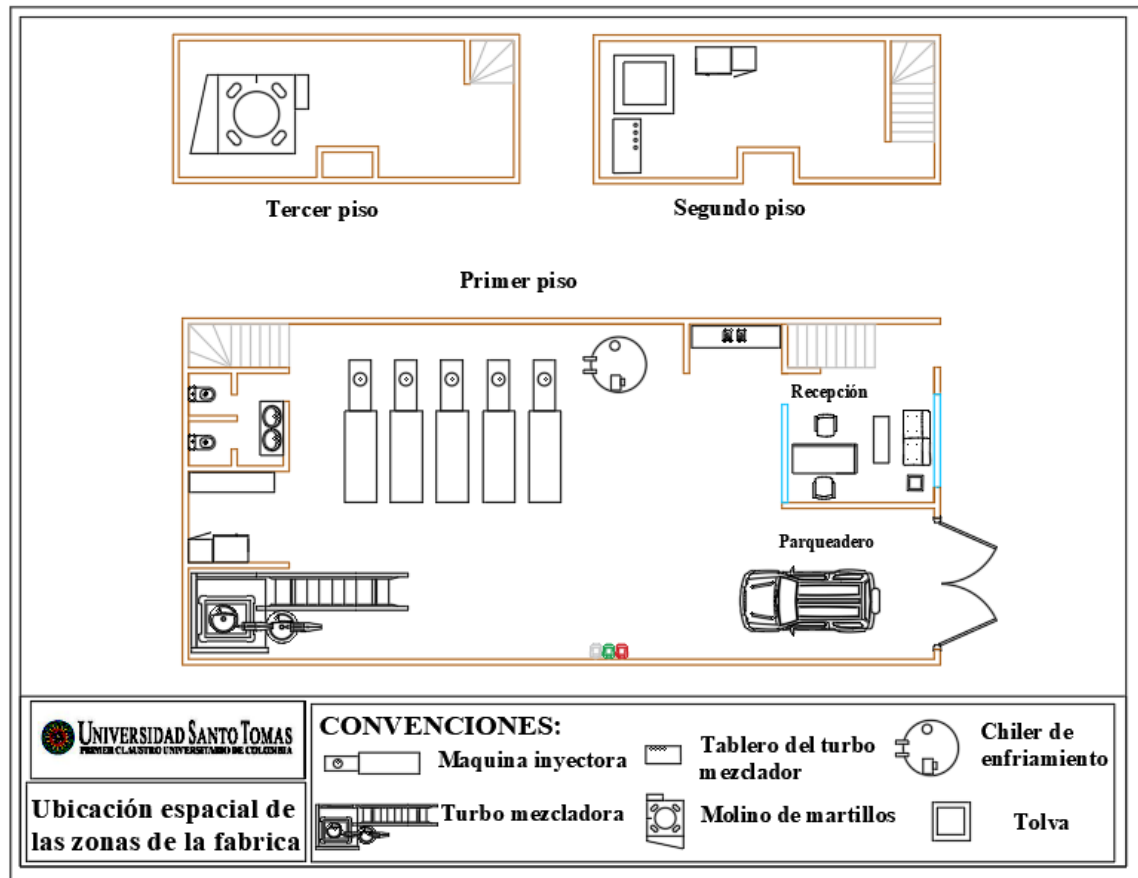
Las sociedades por acciones simplificadas se reglamentan mediante la ley 1258 de 2008, la cual dicta que este tipo de sociedades se establece por una o más personas tanto jurídicas como naturales. La empresa para 2021 tiene un total de 10 trabajadores en planta (Cámara de Comercio de Bogotá, 2019) .

Para el diagnóstico se efectuaron una serie de visitas a la empresa, se realizó un recorrido tanto en la parte administrativa de esta, como en la parte de producción, se dialogó e indagó con los dueños de la empresa para conocer un poco más el contexto en el que se desarrolla la misma. En estas visitas de igual manera se trató con el personal técnico encargado de manejar los distintos procesos dentro de la fábrica, y se solicitaron algunos datos de consumo de energía como los recibos de la luz y algunas especificaciones de las máquinas inyectoras.

A continuación, se muestran los planos de la empresa tanto de la parte productiva como de las oficinas que incluyen las áreas de administración y contabilidad.

3.1. DISTRIBUCIÓN DE ÁREAS

Figura 2. Plano del área de producción

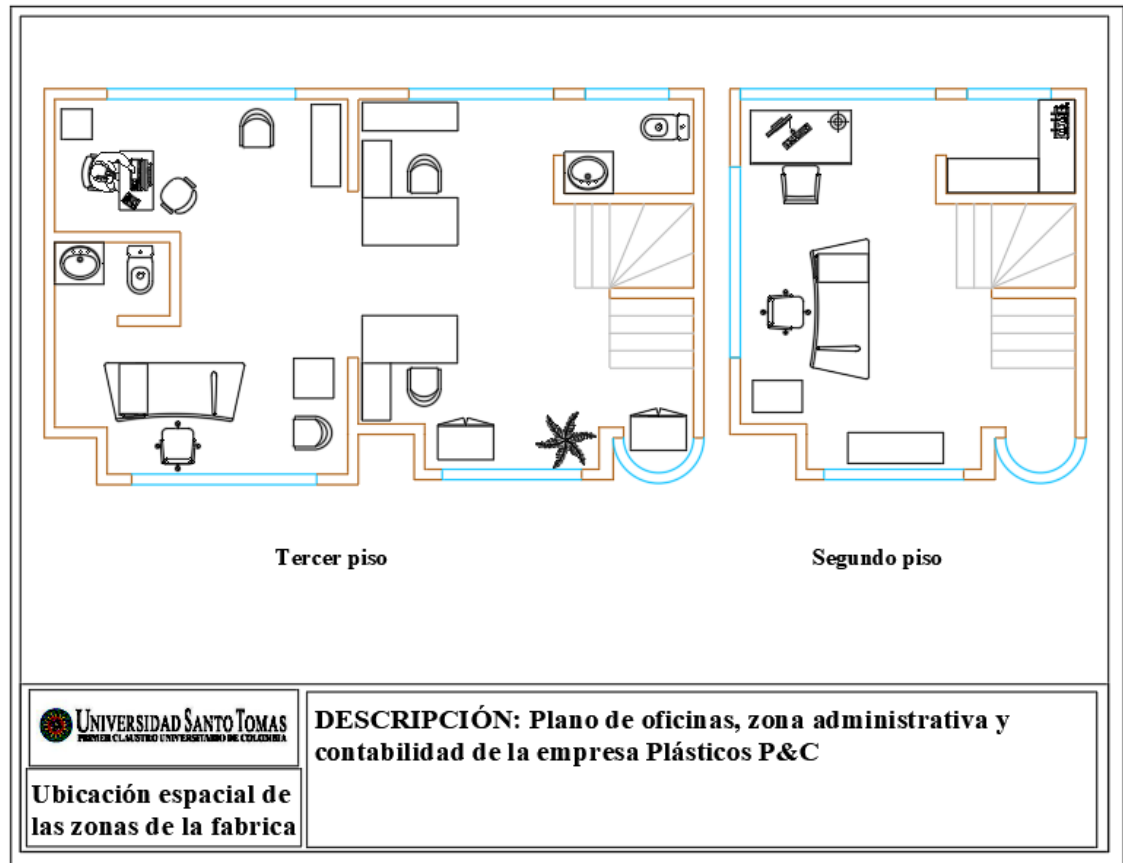


Fuente: Autor

La infraestructura de la empresa consta de dos plantas, en la primera (Imagen 3) se encuentra toda el área productiva de esta, la cual se distribuye en 3 pisos, en el primer piso se localizan las máquinas de inyección, el chiller de enfriamiento que se encarga de mantener el flujo constante de agua a temperatura (9°C) durante el moldeo de las piezas, la turbo mezcladora que realiza la mezcla de la resina y aditivos, el laboratorio donde se verifica la calidad y otros parámetros de las piezas de PVC, un cuarto de almacenamiento, baños, recepción, y parqueadero. El

segundo piso de la primera planta se ubica el tablero y la tolva de la turbo mezcladora y allí mismo se encuentran las materias primas e insumos. En el tercer piso se encuentra exclusivamente el molino de martillos para la molienda del material sobrante del proceso de inyección.

Figura 3. Plano de la zona administrativa y de contabilidad.



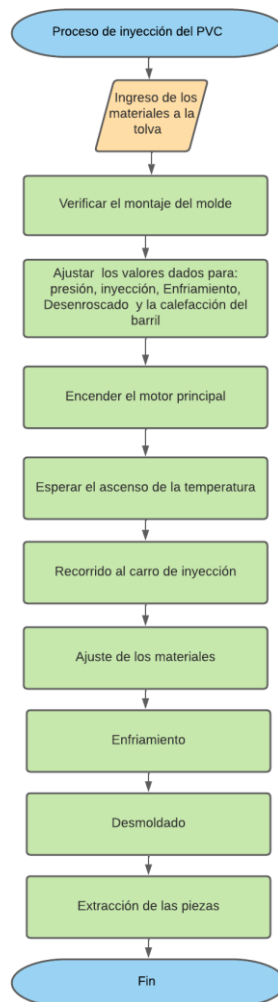
Fuente: Autor

En la segunda planta se localiza únicamente el área administrativa, de contabilidad y un área social o comedor, distribuidos en el segundo y tercer piso. En esta última área se pudo evidenciar un gran aprovechamiento de la luz natural, por lo que la iluminación no supone un gasto importante de energía, adicionalmente tanto el área de contabilidad como administrativa cuentan con 3 computadores, de los cuales solo 2 permanecen encendidos durante el día o jornada laboral, de igual manera en la parte de producción no se hace un uso frecuente de la iluminación excepto en las horas de la noche de 6 a 8 pm, hasta que los operarios acaban turno.

3.2. INYECCIÓN DE PVC

Esta etapa productiva empieza inicialmente con la preparación y calentamiento del molde, en este paso es posible que se tome un tiempo entre 2 a 4 horas de preparación, una vez calentado el molde se inserta la mezcla previamente preparada en la turbo mezcladora por la tolva de la máquina inyectora, a través de esta se transporta el material calentado al tornillo el cual ejerce una presión y que de acuerdo al alta temperatura obtenida (165-175°C) se realiza el moldeo del material, finalmente se enfría mediante el flujo del refrigerante a temperatura constante (9 °C) circulado mediante el chiller de enfriamiento conectado a la máquina el cual enfría cada pieza a través de los conductos del molde .

Gráfica 1. Diagrama de flujo



Fuente: Autor

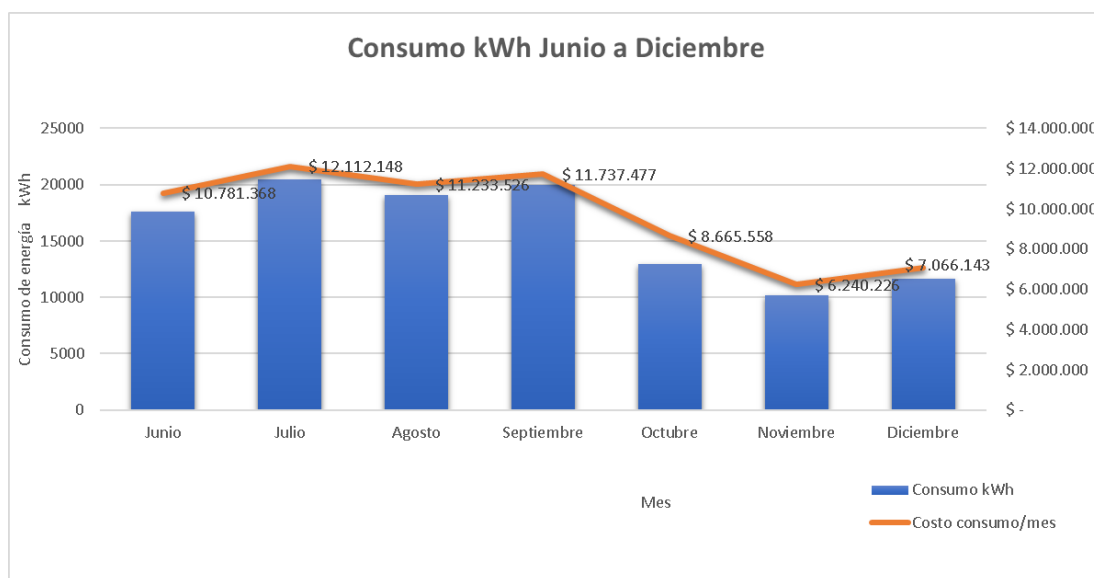
3.3. CONSUMOS DE ENERGÍA

De acuerdo a diversos estudios realizados en este sector se ha encontrado que el mayor consumo de energía a nivel empresarial se atribuye al proceso de inyección, siendo su contribución entre un 60 a un 66 % del total de energía consumida en comparación a la iluminación, áreas de oficinas y otros procesos que se desarrollan en la industria del plástico (Mobil, 2019) (Vargas, Posada, Jaramillo, & García, 2015).

En El consumo de energía actual dentro de la empresa se encuentra unificado tanto para el área productiva como administrativa. El servicio de energía viene dado por la empresa Dichel, distribuidora y comercializadora de energía eléctrica.

A continuación se presentan los datos de consumo de junio a diciembre del año 2021, El periodo de tiempo que se tomó para el análisis de los consumos energéticos es de 6 meses, no se tuvieron en cuenta los meses anteriores a junio debido a que por efectos de la pandemia actual no se operó en condiciones normales dentro de la empresa y muchas de las actividades permanecieron suspendidas , Los consumos medios presentados en la gráfica 2, vienen dados de acuerdo a las horas de trabajo, de parada y potencia de cada máquina de inyección:

Gráfica 2. Consumos de energía.



Fuente: Autor

En la gráfica 2 se observa que el mes de julio tuvo el mayor valor en cuanto a consumos de energía, y el descenso de los costos de la energía se ve reflejado de

octubre a diciembre. Dialogando con los dueños y operarios de la empresa estos valores se ven influidos por dos factores, el primero es que una de las máquinas dejó de funcionar y ha estado en mantenimiento desde el mes de octubre, y la otra razón se debe a que ha estado escaseando la resina del policloruro de vinilo, debido a que desde finales de 2020 varias de las empresas distribuidoras se han visto afectadas por las consecuencias que trajo el inicio de la pandemia que influyeron en la comercialización de resina, tal es el caso de Vestolit , empresa distribuidora de PVC a nivel américa latina para países como México y Colombia. (Hays, 2020).

Cabe resaltar que la empresa maneja la producción bajo los pedidos que se hagan, es decir las cantidades producidas dependen de la demanda que se tenga, por lo cual varía el flujo de producción por temporadas. Para el diagnóstico se realizó la estimación del consumo en el mes de Julio que mostró el valor más alto de consumos, para lo cual se tuvo en cuenta la potencia de cada máquina dada en el etiquetado de la misma, y las horas de trabajo de cada una, menos el tiempo de parada durante cada cambio de molde por lo que se tomó un valor de 6 horas de trabajo, en total se realizó la estimación de los costos de consumo para las 5 máquinas que hasta el momento estaban operando.

Tabla 1. Consumos y costos totales

Consumo en el proceso de inyección		
Máquinas Borsche		
Potencia	38,2	kW
Horas de trabajo	6	h
Días de trabajo	21	día
Consumo diario	229,2	kWh/DÍA
Consumo mes	4813,2	kWh/MES
# de máquinas	3	U
Consumo total mes	14439,6	kWh/MES
Total mes	\$ 7.219.800	\$
Máquina Van Dorn		
Potencia	29,828	kW
Horas de trabajo	6	h
Días de trabajo	21	día
Consumo diario	178,968	kWh/DÍA
Consumo mes	3758,328	kWh/MES
Total mes	\$ 1.879.164	\$
Máquina Mir 135		
Potencia	32	kW
Horas de trabajo	6	h
Días de trabajo	21	día
Consumo diario	192	kWh
Consumo mes	4032	kWh
Consumo total mes	22229,928	kWh
Total mes	\$ 2.016.000	\$
Total	\$ 11.114.964	\$

Fuente: Autor

Se realizó una estimación de las cantidades de CO₂ producidas dentro del periodo de estudio, para lo cual se tuvo un total de 22714,685 kg o 22,714 ton de CO₂ equivalentes para un factor de emisión de 0,203 kg CO₂/kWh (UPME, 2021).

Figura 4. Fotografía ficha técnica de la máquina Borsche



Fuente: Autor

Figura 5. Fotografía máquina de inyección Borsche



Fuente: Autor

Anteriormente se han realizado modificaciones previas para mejorar la eficiencia en el consumo de energía, a todas las máquinas se les realizó un reacondicionamiento técnico agregando un variador de frecuencia y un PLC para aumentar su eficiencia y controlar los parámetros de presión, velocidad, temperatura

y caudal, esta implementación de herramientas logra automatizar la velocidad del motor mediante el monitoreo de la frecuencia para disminuir el consumo (ENCOM).

Para que cada máquina de inyección opere de manera correcta, esta debe constar de elementos de lubricación o de un aceite lubricante, mediante un circuito hidráulico este es circulado por una bomba, adicionalmente este lubricante aporta propiedades anticorrosivas y mantienen limpios los mecanismos de la máquina (Cadena & Meza, 2007). Cada máquina usa el aceite Hidralub 68 o ISO 68, este aceite tiene una viscosidad alta a comparación de otros aceites del mercado como el ISO 46, el cual es circulado mediante una bomba. La temperatura con la cual operan durante la inyección es de 165 a 175° C en promedio, y la temperatura del agua del chiller es de 9°C. Cada una opera con energía eléctrica

3.4. MARCO LEGAL

Norma técnica ISO 1341: Accesorios de Poli(Cloruro de Vinilo)(PVC) Rígido para Tubería Sanitaria-Aguas Lluvias y Ventilación

La empresa se rige bajo los estándares establecidos por la norma técnica Colombiana ISO 1341 para los accesorios de policloruro de vinilo rígido para el uso de tuberías sanitarias, aguas lluvias y de ventilación, mediante la cual se dictan los requisitos que deben tener los accesorios de PVC producidos mediante el proceso de inyección. La empresa cuenta con la debida acreditación.

Decreto 2501 de 200

“por medio del cual se dictan disposiciones para promover prácticas con fines de uso racional y eficiente de energía eléctrica.”

Ley 1819 de 2016

“Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria estructural, se fortalecen los mecanismos para la lucha contra la evasión y la elusión fiscal, y se dictan otras disposiciones.”

Ley 2099 de 2021

“Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones.”

4. PROPUESTAS Y POSIBILIDADES DE RECONVERSIÓN ENERGÉTICA

De acuerdo al diagnóstico ejecutado y el análisis de los distintos datos recopilados desde el mes de junio a diciembre del año 2021, se desarrollan las siguientes propuestas para aumentar la eficiencia energética en la planta de producción y por ende disminuir los costos asociados y emisiones de CO₂.

4.1. ACEITE HIDRÁULICO

El aceite mineral hidralub 68 es uno de los aceites en el mercado con una viscosidad alta en comparación a otros aceites, lo que lo hace ideal ya que permite un trabajo óptimo cuando aumenta la temperatura, y aporta propiedades anticorrosivas y previene la oxidación de los mecanismos dentro de cada equipo

Lo recomendado sería verificar en las especificaciones de cada fabricante cual es el plazo recomendado para el mantenimiento o cambio del aceite lubricante, que dentro de la empresa actualmente se realiza de forma anual. La ausencia del mantenimiento de manera periódica del aceite puede afectar el rendimiento de las máquinas y aumentar la cantidad de trabajo y por ende mayor consumo de energía si es que este llega a mostrar presencia de partículas o suciedad en el, adicionalmente repercute en la vida útil de cada máquina (Castelló, 2018).

Los aceites con una alta viscosidad tienen mayor necesidad frente al mantenimiento, debido a que aumentan las pérdidas de fricción, por consiguiente, es indispensable el mantenimiento, ya que a mayor grado de viscosidad hay una mayor demanda de energía por parte del motor (Johnson, 2010).

Tabla 2. Comparación del estado del aceite hidráulico y su rendimiento antes y después

	Antes	Después de 6 meses
Párculas sólidas	22/19/17	12/9/7
Agua	230 ppm	41 ppm
Nivel de resinas (oxidación)	Color negro	Color blanco
Coste de mantenimiento por máquina	EUR 3.140,28	EUR 277,15
Horas de paradas imprevistas	(3.500 x 0,05) = 175 horas	(2.500 x 0,02) = 70 horas
Duración del aceite	8.000 horas	Todavía no ha cambiado *)
Limpieza del tanque	Cada año	Nunca

Fuente: Tomado de (Bertelsen & Jensen, 2001)

En la tabla 2, se puede observar de acuerdo a un estudio de aplicación, que el mantenimiento del aceite tiene múltiples beneficios en relación a la eficiencia, ya que se reduce el tiempo de parada en las máquinas de inyección y consigo el costo de mantenimiento. En dicho caso se implementaron una serie de filtros finos, que tienen la funcionalidad de tratar el aceite hidráulico, ya que tienen un control sobre la calidad de este (C.C JENSEN, s.f.).

Para la medición de la calidad del aceite hidráulico lo recomendable es guiarse por la norma internacional ISO 4406, la cual dicta los requerimientos de limpieza para los sistemas hidráulicos, que de acuerdo al nivel de contaminación se pueda establecer el tratamiento más efectivo.

Tabla 3. Códigos de limpieza del aceite hidráulico

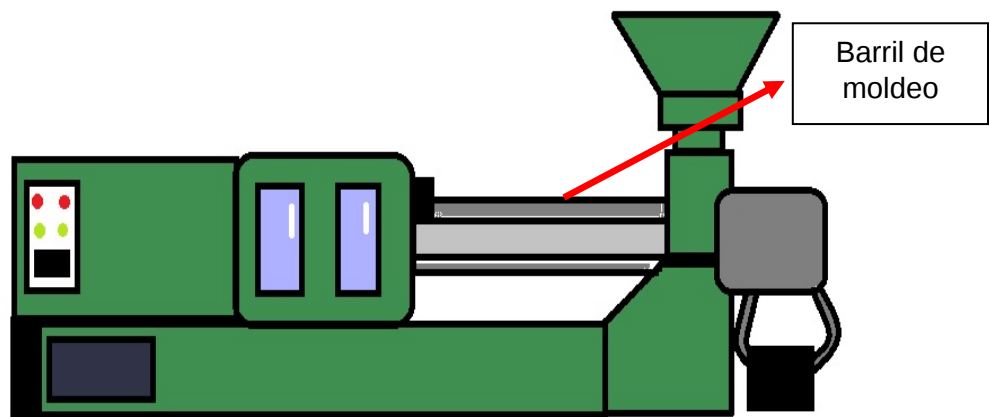
Código de Rango	Partículas por 100 ml de fluido	
	Más de	Hasta y incluyendo
24	8,000,000	16,000,000
23	4,000,000	8,000,000
22	2,000,000	4,000,000
21	1,000,000	2,000,000
20	500,000	1,000,000
19	250,000	500,000
18	130,000	250,000
17	64,000	130,000
16	32,000	64,000
15	16,000	32,000
14	8,000	16,000
13	4,000	8,000
12	2,000	4,000
11	1,000	2,000
10	500	1,000
9	250	500
8	130	250
7	64	130
6	32	64

Fuente: ISO 4406

4.2. AISLANTE TÉRMICO

Actualmente la empresa no ha implementado en las máquinas de inyección algún tipo de aislante térmico, se les preguntó a los dueños y operarios si lo tenían, para lo cual respondieron que no contaban con esto y que de igual manera se evidenció en la medición de la temperatura externa. Durante el proceso de producción el calentamiento del barril utiliza una cantidad de energía considerable, ya que en este momento en que el PVC es inyectado las resistencias suministran gran parte del calor circulado al interior del barril, por lo cual se presenta una pérdida de calor que influye de manera proporcional al consumo de energía más elevado (Mobil, 2019).

Figura 6. Modelo de una máquina de inyección



Fuente: Autor

Se planteó la implementación de aislantes térmicos en el barril de la inyectora, con el fin de visualizar una diferencia en la disminución de las pérdidas de calor y de esta manera aumentar el porcentaje de ahorro asociado. Para lo cual se empleó la fórmula de Fourier, con el fin de determinar las condiciones antes y después del aislante.

4.2.1. LEY DE FOURIER

$$Q = -KA \frac{dT}{dx}$$

$$Q = \text{Flujo de calor en } W \left(\frac{J}{s} \right)$$

$K = \text{Conductividad térmica en } W(m * ^\circ K)$

$A = \text{Área transversal } (m^2)$

$T = \text{Temperatura } (^\circ K)$

$x = \text{Distancia en el sentido del flujo del calor } (m) \text{ radio del cilindro}$

Conforme a la búsqueda y comparación de los distintos aislantes en el mercado se consideró usar uno de fibra de vidrio para el barril de la inyectora. Para la medición de la temperatura externa del barril se utilizó un sensor de temperatura láser, esta medición se realizó para los 2 modelos de máquinas que se encontraban en funcionamiento durante las visitas. La temperatura actual bajo la cual se funde el material está aproximadamente por los 165° y 175°C.

Tabla 4. Medición de la temperatura externa del barril

Borche 200	Mir 135
	

Fuente: Autor

De acuerdo a la fórmula se realizó un despeje para determinar las pérdidas de calor en el proceso de inyección:

Máquina Borche 200:

$$Q = \frac{T1 - T2}{\frac{\ln \frac{r2}{r1}}{2\pi LK1}}$$

Q : calor perdido al ambiente por el cilindro de la inyectora

$$\text{sin aislamiento térmico en } W = \frac{J}{s}$$

T1: temperatura interna = 165°C, temperatura en la que se calienta el pvc

T2: temperatura externa sobre el cilindro de la inyectora = 49,3°C

K1: conductividad térmica del cilindro de la inyectora (hierro)

r1: radio interno del cilindro de la inyectora en cm = 10,5 cm

r2: radio externo del cilindro de la inyectora en cm = espesor + r1 = 17,5 cm

L: longitud del cilindro de la inyectora en m = 0,7 m

$$Q = \frac{165^{\circ}C - 49,3^{\circ}C}{\frac{\ln \frac{17,5 \text{ cm}}{10,5 \text{ cm}}}{2\pi * 0,7m * 79,5 \frac{W}{m * ^{\circ}K}}} =$$

$$79196,4513 \text{ W} = 79,1964 \text{ kW}$$

Máquina MIR 135:

$$Q = \frac{T1 - T2}{\frac{\ln \frac{r2}{r1}}{2\pi L K1}}$$

Q: calor perdido al ambiente por el cilindro de la inyectora

$$\text{sin aislamiento térmico en } W = \frac{J}{s}$$

T1: temperatura interna = 175°C, temperatura en la que se calienta el pvc

T2: temperatura externa sobre el cilindro de la inyectora = 86,5°C

K1: conductividad térmica del cilindro de la inyectora (hierro)

r1: radio interno del cilindro de la inyectora en cm = 8,5 cm

r2: radio externo del cilindro de la inyectora en cm = espesor + r1 = 13,5 cm

L: longitud del cilindro de la inyectora en m = 0,8 m

$$Q = \frac{175^{\circ}\text{C} - 86,5^{\circ}\text{C}}{\frac{\ln \frac{8,5 \text{ cm}}{13,5 \text{ cm}}}{2\pi * 0,8\text{m} * 79,5 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^{\circ}\text{K}}}} =$$

$$76445,6089 \text{ W} = 76,44560 \text{ kW}$$

El aislante que se escogió es uno de fibra de vidrio, el cual resiste temperaturas hasta de 1000°C, ofrece protección al personal de la empresa, ya que puede llegar a bajar la temperatura externa considerablemente, adicionalmente mantiene en mayor medida la temperatura interna del barril durante la inyección.

Para hallar el espesor del aislante se utilizó la siguiente fórmula, y se tuvo en cuenta una pérdida del 1 % de calor:

$$Q = \frac{T1 - T4}{\frac{\ln \frac{r2}{r1}}{2\pi LK1} + \frac{\ln \frac{r3}{r2}}{2\pi LK2} + \frac{\ln \frac{r4}{r3}}{2\pi LK3}}$$

El último término del denominador corresponde a la resistencia térmica del recubrimiento del aislante que es despreciable por tener elevada conductividad al estar fabricado de aluminio térmico. Por consiguiente, la ecuación queda:

Máquina Borsche 200:

$$Q = \frac{T1 - T4}{\frac{\ln \frac{r2}{r1}}{2\pi LK1} + \frac{\ln \frac{r3}{r2}}{2\pi LK2}}$$

$$\ln \left(\frac{r3}{r2} \right) = \left(\frac{T1 - T4}{Q} - \frac{\ln \left(\frac{r2}{r1} \right)}{2\pi LK1} \right) * 2\pi LK2$$

$T4$: temperatura externa sobre el aislante

intermedia entre la temperatura ambiente y la medida = 24°C

$$\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) = \left(\frac{165^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}}{0,01 * 79196,4513 \text{ W}} - \frac{\ln\left(\frac{17,5 \text{ cm}}{10,5 \text{ cm}}\right)}{2\pi * 0,7 \text{ m} * 79,5 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{K}}} \right) * 2\pi * 0,7$$

$$* 0,045 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}}$$

$$\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) = 0,1777$$

$$\left(\frac{r_3}{r_2}\right) = 1,194525$$

$$r_3 = 1,194525 \text{ cm} * 17,5 \text{ cm}$$

$$r_3 = 20,904 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor del aislante} = 20,904 \text{ cm} - 17,5 \text{ cm} = 3,404 \text{ cm}$$

Máquina Mir 135:

$$\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) = \left(\frac{T_1 - T_4}{Q} - \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L K_1} \right) * 2\pi L K_2$$

$$Q \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) = \left(\frac{175^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}}{0,01 * 76445,6089 \text{ W}} - \frac{\ln\left(\frac{13,5 \text{ cm}}{8,5 \text{ cm}}\right)}{2\pi * 0,8 \text{ m} * 79,5 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{K}}} \right) * 2\pi * 0,8$$

$$* 0,045 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{C}}$$

$$\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) = 0,197264$$

$$\left(\frac{r_3}{r_2}\right) = 1,218065$$

$$r_3 = 1,218065 \text{ cm} * 13,5 \text{ cm}$$

$$r_3 = 16,44388 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor del aislante} = 16,44388 \text{ cm} - 13,5 \text{ cm} = 2,94 \text{ cm}$$

El aislante propuesto para su implementación es como se mencionó anteriormente de fibra de vidrio marca Frescasa de 18m², el cual tiene un costo de \$ 482.000 COP.

Se realizó una comparación de costos y consumos de energía, en el cual se logra evidenciar que para unas pérdidas del 1% del calor hay un ahorro significativo en relación a la energía eléctrica en los dos modelos de máquinas analizados.

Tabla 5. Pérdidas y costos de energía sin aislante

Sin aislante (BORCHE 200)			
Horas de uso/día	Energía perdida KW	Costos de energía /día (\$COP)	ahorro (\$COP)
6	79,20	\$ 39.598	-

Fuente: Autor

Tabla 6. Ahorro del costo de la energía con aislante

Con aislante (BORCHE 200)						
Horas de uso/día	Energía perdida KW	Energía ahorrada KW	Costos de energía (\$COP)	ahorro/día (\$COP)	ahorro /mes (\$COP)	ahorro/año (\$COP)
6	0,792	78,404	\$ 396	\$ 39.202	\$ 823.247	\$ 9.878.965
Total (3 máquinas)				\$ 117.607	\$ 2.469.741	\$ 29.636.896

Fuente: Autor

Tabla 7. Pérdidas y costos de energía sin aislante

Sin aislante (MIR 135)			
Horas de uso/día	Energía perdida KW	Costos de energía (\$COP)	ahorro (\$COP)
6	76,45	\$ 38.223	-

Fuente: Autor

Tabla 8. Ahorro del costo de la energía con aislante

Con aislante (MIR 135)						
Horas de uso/día	Energía perdida KW	Energía ahorrada KW	Costos de energía (\$COP)	ahorro/día (\$COP)	ahorro /mes (\$COP)	ahorro/año (\$COP)
6	0,764	75,681	\$ 382	\$ 37.841	\$ 794.652	\$ 9.535.825

Fuente: Autor

Anualmente se estarían ahorrando aproximadamente \$ 39.172.721 al año si se implementara el aislante en las 4 máquinas que operan actualmente en la empresa. Adicionalmente se encontró un ahorro del 36% sobre el actual en los consumos de energía. Para el periodo estudiado (6 meses) se evitaría la emisión de 2222,2613 kg CO₂/kWh a la atmósfera, y que anualmente serían de 4444,52,52 kg CO₂/kWh.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la implementación del aislante se puede llegar a tener un ahorro de energía aproximado del 36%, que de acuerdo a las estimaciones realizadas

las pérdidas de calor suponen un consumo de energía más elevado durante la inyección de PVC, es decir que si se logra mantener la temperatura interna con las menores pérdidas posibles se estaría generando un ahorro de energía considerable, que no solo traería beneficios económicos para la empresa, si no la disminución de toneladas de CO₂ asociadas al consumo de energía eléctrica.

Otro beneficio asociado sería una reducción del 10% de las emisiones de CO₂, es de destacar que estas estimaciones se realizaron tomando como base el estado inicial frente a lo que llevaría la posible implementación del aislante, por lo que se estarían evitando un total de 4 toneladas al año solo de la inyección de PVC en relación al consumo energético. Para comprender la importancia del tema basta con citar que según estudios de la fundación Aquae un árbol tiene la capacidad de absorber 30 kg de CO₂ al año, por lo cual para tan solo 1 tonelada de CO₂ se necesitarían un total de 33 árboles, así pues, es importante relacionar la participación que presenta el sector de producción de PVC en el aporte de GEI y la responsabilidad ambiental que tiene este sector (Fundación Aquae, 2016).

6. BIBLIOGRAFÍA

- ACOPLÁSTICOS. (2020). *Plásticos en Colombia*. Bogotá: ACOPLÁSTICOS.
- ANIQ. (2004). Manual PVC. Ciudad de México.
- Berengena, R. (20 de Diciembre de 2016). Ahorro en la inyección actual, ¿servomotores o variadores? *Interempresas*.
- Bertelsen, U., & Jensen, T. (2001). *Aceite Hidráulico Máquinas de Inyección de Plástico*. NEYR PLASTIQUES .
- C.C JENSEN. (s.f.). CJC. Obtenido de <https://www.cjc.dk/es/productos/filtros-finos/>
- Cadena, C., & Meza, A. (2007). *Diseño de una máquina inyectora de plástico*. Universidad Industrial de Santander.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (Marzo de 2019). *¿Qué son las sociedades por acciones simplificadas?* Obtenido de <https://www.ccb.org.co/content/download/5025/65769/version/8/file/GUIA%201%20RM.pdf>
- Castelló, J. (2018). *INYECCIÓN DE PLÁSTICO PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Colombia productiva. (4 de Marzo de 2021). *Empresas han ahorrado más de \$1.300 millones gracias a proyecto de Eficiencia Energética*. Recuperado el 24 de Marzo de 2022, de <https://www.colombiaproductiva.com/ptp-comunica/noticias/empresas-han-ahorrado-mas-de-1-300-millones-gracia>
- ENCOM. (s.f.). Energy Saving application for injection machine. Shenzhen.
- Fundación Aquae. (Abril de 2016). Recuperado el 02 de Mayo de 2022, de https://www.fundacionaquae.org/wp-content/uploads/2016/04/infografia_oxigeno.pdf
- Hays, K. (16 de Octubre de 2020). La reducción de oferta mundial de PVC llega a Latinoamérica por la escasez de materia prima. *S&P Global*.

- Itoplas. (2018). *Reforme su inyectora y empiece a ahorrar*. Barcelona: Itoplas Engineering.
- Jhonson, L., & Pereira, G. (2011). *Análisis del Impacto de los Gases de Efecto Invernadero en el Ciclo de Vida de los Embalajes y Otros Productos Plásticos en Chile V1.0*. Chile: Carbon Reduction Institute.
- Johnson, M. (2010). *Energy efficiency through precision lubrication*. AMRRI.
- Mobil. (2019). *Una de ahorro de energía para las inyectoras de plástico*. Applied Market Information.
- Sanchez, M. (17 de Septiembre de 2015). *Observatorio de Desarrollo Económico*. (Alcaldía Mayor de Bogotá) Recuperado el 25 de Marzo de 2022, de <https://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/industria/carvajal-la-cadena-productiva-del-plastico>
- Sisniega, I. (2010). *Proyecto de gestión y tratamiento de los aspectos ambientales originados en una industria química que comercializa Plásticos*. Barcelona.
- UPME. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Bogotá.
- UPME. (2021). *Unidad de Planeación Minero Energética*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Normatividad/382_2021.pdf
- Vargas, C., Posada, J., Jaramillo, L., & García, L. (2015). *CONSUMOS DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO: REVISIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS*. CEA, 4-6.