



## Ciencia Nicolaita 86

ISSN: 2007-7068



Universidad  
Michoacana  
de San Nicolás  
de Hidalgo

# Diseño de prensa hidráulica para reciclar polietileno de alta densidad (HDPE) en forma de placas

## Hydraulic press design for recycling HDPE high-density polyethylene in plates form

Renato González Bernal\*, Carlos Alfredo Zamudio Guerrero, Juan José Piña Castillo, Jesús Cirilo Trujillo Jiménez, Francisco Israel Tinoco Reyes

**Para citar este artículo:** Renato González Bernal\*, Carlos Alfredo Zamudio Guerrero, Juan José Piña Castillo, Jesús Cirilo Trujillo Jiménez, Francisco Israel Tinoco Reyes, 2022. Diseño de prensa hidráulica para reciclar polietileno de alta densidad (HDPE) en forma de placas. Ciencia Nicolaita no. 86, 136-148. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi86.682>



### Historial del artículo:

Recibido: 20 de agosto de 2022

Aceptado: 7 de octubre de 2022

Publicado en línea: diciembre de 2022



**Ver material suplementario**



**Correspondencia de autor:** [regonzalez@umich.mx](mailto:regonzalez@umich.mx)



**Términos y condiciones de uso:** <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/privacy>



**Envíe su manuscrito a esta revista:** <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/submissions>



# Diseño de prensa hidráulica para reciclar polietileno de alta densidad (HDPE) en forma de placas

## Hydraulic press design for recycling HDPE high-density polyethylene in plates form

Renato González Bernal\*, Carlos Alfredo Zamudio Guerrero, Juan José Piña Castillo, Jesús Cirilo Trujillo Jiménez, Francisco Israel Tinoco Reyes

<sup>1</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Arquitectura, Maestría en Ordenamiento Territorial.

<sup>2</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Arquitectura.

### Resumen

En este proyecto se diseñó una prensa hidráulica para realizar placas de hojuelas de plástico de polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado. Para llevar a cabo el diseño, se realizó un análisis de las presiones y de las temperaturas necesarias para poder darle la forma adecuada y que el plástico se aglomerara de manera correcta. Una vez conocidos estos datos, se calculó la fuerza necesaria que debía aportar el pistón hidráulico, fuerza con la cual se hizo un análisis del sistema hidráulico y se realizó el diagrama hidráulico, observando las funciones que se requerían. La fuerza de cierre de la prensa fue de hasta 676 KN, mientras que la temperatura con la cual entró el molde a la prensa fue de hasta 285 °C. Se comenzó por seleccionar la unidad de potencia, continuando con el actuador que fue un pistón de doble acción para comprimir y levantar la tapa de los moldes. Finalmente, en esta etapa se seleccionaron las mangueras y las válvulas de control.

Conocida la fuerza para la compresión, se determinaron los materiales que serían utilizados en la estructura de la prensa, seleccionándose preferentemente perfiles comerciales por su fácil adquisición, armado, mantenimiento y para reducir los costos de la estructura. Lograda la estructura tipo H de la prensa, se establecieron las dimensiones de las platinas que tendrán la función de distribuir la fuerza de compresión en los moldes de las distintas medidas. Finalmente, se realizó el diseño de la prensa hidráulica con ayuda de un programa de diseño asistido llamado SolidWorks®.

**Palabras clave:** reciclado, polietileno de alta densidad (HDPE), sistema hidráulico, platinas, prensa

## Abstract

In this project, a hydraulic press was designed to make plates of high-density polyethylene plastic flakes (HDPE) recycled, an analysis of the pressures and temperatures necessary to be able to give it the appropriate shape was carried out, and the plastic agglomerates correctly. Once these data were known, the necessary force that the hydraulic piston should provide was calculated. With this force, an analysis of the hydraulic system was made and the hydraulic diagram was made observing the functions that are required. The closing force of the press is up to 676 kN and the temperature with which the mold enters the press is up to 285 °C. It began by selecting the power unit, continuing with the actuator, which would be a double action piston. to compress and lift the lid of the molds. Finally, at this stage the hoses and control valves were selected.

Knowing the force for compression, the materials used in the structure of the press were also determined. Commercial profiles were preferably selected for their easy acquisition, assembly, maintenance and to reduce the costs of the structure. Once the H-type structure of the press was achieved, the dimensions of the plates that will have the function of distributing the compression force in the molds of the different sizes were determined. Finally, the design of the hydraulic press was carried out with the help of an assisted design program called SolidWorks®.

**Keywords:** recycling, high density polyethylene (HDPE), hydraulic system, platens, press

Nomenclatura	
$A_c$ = Área total de cada columna	$R_{1y}$ = Fuerza cortante resultante en la dirección vertical
$A_p$ = Área requerida del tornillo 1	$R_p$ = Fuerza cortante directa
$A_T$ =Área total requerida para las columnas	$R_{T1}$ = Fuerza resultante total en el tornillo 1
$d$ = Diámetro del tornillo	$S$ = Módulo de sección
HDPE= Polietileno de Alta Densidad	$S_u$ = Esfuerzo último
$M_{máx}$ = Momento máximo desarrollado en la viga	$S_y$ = Esfuerzo de fluencia
$N$ = Factor de seguridad	$S_{ys}$ = Esfuerzo de fluencia a cortante
$P$ = Carga total	$t$ = Espesor mínimo de apoyo en la conexión de la viga-columna.
PP= Polipropileno	$\sigma_d$ = Esfuerzo de diseño para cargas axiales
PVC= Policloruro de vinilo	$\sigma_{dB}$ = Esfuerzo de diseño de apoyo
$R_{1x}$ = Fuerza cortante resultante en la dirección horizontal	$\tau_d$ = Esfuerzo cortante de diseño

## Introducción

El reciclado de los productos plásticos es un tema esencial que en los últimos años ha cobrado mucha relevancia. Se estima que estos residuos tardan entre 100 y 1000 años en degradarse (Redes Leonardo, 2019), de allí que el reciclaje de botellas de polietileno de alta densidad (HDPE) y polipropileno (PP), estén cobrando un interés muy particular y representen otra importante sección en el mercado del reciclaje, ya que

a partir de estos residuos se puede obtener una amplia variedad de productos y aplicaciones finales con un retorno de inversión financiero interesante y valioso (Justo Irene, 2008).

Debido a la necesidad de encontrar soluciones para manejar los desechos plásticos, se han desarrollado diversas técnicas de reciclaje, ya que como hay diferentes tipos de plásticos, la separación y reutilización también es distinta. En este sentido, el reciclaje de plásticos puede ser físico, químico, térmico y, en



último caso, para disposición final en un relleno sanitario. En el caso específico del HDPE, el único proceso que no se recomienda es el reciclaje químico, ya que en términos económicos y medioambientales, no es factible, por lo que se recomiendan los reciclajes mecánico y térmico (Roca, 2016).

El reciclado mecánico consiste en varias fases, a saber: lavado y limpieza, clasificación, trituración, entre otras; una vez terminadas todas estas fases, el plástico está preparado para convertirse en nuevos productos mediante la aplicación de diferentes métodos, como extrusión, inyección, moldeo por compresión, etc. En este último, el material bien líquido o en forma de polvo, granza o de pastilla preformada (preforma), se coloca en el molde caliente, el cual se cierra lentamente hasta que las dos mitades del molde ejercen presión sobre el material. Conforme el molde va cerrándose, el material es obligado a ocupar todas las partes de la cavidad de moldeo. Bajo la acción conjunta del calor y la presión, tienen lugar las reacciones de entrecruzamiento que transforman al material termoendurecible en termoestable, proceso que se conoce vulgarmente como “curado”. Tras el curado se abre el molde y se extrae la pieza totalmente sólida, que solamente alcanza su rigidez definitiva cuando se ha enfriado totalmente. Cuando la pieza tiene forma complicada o grandes dimensiones, es aconsejable colocarla en conformadores después de extraerla del molde, para así evitar que se deforme mientras se enfría (Beltrán y Marcilla, 2012).

El HDPE es un polímero proveniente del petróleo y es uno de los plásticos más utilizados para la fabricación de artículos de todo tipo. Una de las características del HDPE que más destacan es su resistencia, ya que es un material fuerte y duro lo que lo hace muy resistente, pero que a la vez resulta flexible para la elaboración de juguetes, envases, botellas, tapas, etc. También puede contener materiales peligrosos o corrosivos como algunos ácidos, pesticidas, etc. Asimismo, soporta tanto temperaturas altas como bajas. Su composición hace que su tiempo de vida sea extendido, además de ser un material 100 % reciclable (MAXIPET, 2020).

En este contexto, el presente trabajo desarrolla el diseño mecánico de una prensa hidráulica para crear placas de plástico reciclado de polietileno de alta densidad (HDPE) y/o polipropileno (PP) utilizando el mé-

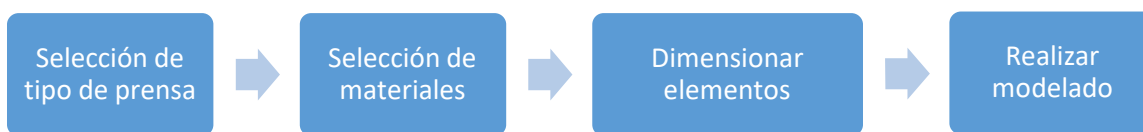
todo de moldeo por compresión, para lo cual es necesario el uso de una máquina llamada prensa hidráulica, la cual funciona aplicando una pequeña fuerza de entrada que será amplificada por el fluido para obtener determinada fuerza de salida. Una prensa hidráulica moderna se compone básicamente de estructura, sistema hidráulico, sistema eléctrico y sistema de potencia (Díaz del Castillo Felipe, 2012). El objetivo final de un diseño mecánico, es obtener un producto útil que satisfaga las necesidades industriales o de un cliente, que sea seguro, confiable, económico y de manufactura práctica (Redes Leonardo, 2019).

Si reciclamos el plástico, estaremos consumiendo una menor cantidad de materia prima y de recursos naturales y energéticos no renovables, con lo cual se evitará, en cierta forma, que estos se agoten. En este sentido, diseñar un equipo que sirva para reciclar plástico y dar nuevos usos, como es el caso de las placas de plástico reciclado que de manera particular que se plantea en este trabajo, contribuirá con el medio ambiente. Las placas son idóneas para múltiples aplicaciones, el límite de sus usos está en la imaginación y creatividad; además, una ventaja más es que sus residuos de corte o sobrantes se pueden volver a reciclar para ser usadas en nuevas aplicaciones.

## Antecedentes

Fue en el año 1800, cuando el químico Jöns Jacob extrajo y aisló por primera vez un polímero natural, acuñando también el término. Tres décadas después, el físico y químico galo, Henri Victor Regnault, logró la primera transformación del policloruro de vinilo en PVC mediante la polimerización, siendo el plástico más producido en el siglo XX. Por su parte, en 1839, Charles Goodyear descubrió la vulcanización del caucho natural. Hacia finales de la primera mitad del siglo, Frederick Walton creó el linóleo, un plástico fabricado a partir de la mezcla de aceite de lino y serrín o corcho sobre un textil grueso. Para 1879, M. Gray patenta el primer extrusor, ya con diseños más adecuados y con muchos de los elementos que tienen las extrusoras actuales. Finalmente, en 1899, Hans Von Pechmann sintetizó, por casualidad, el polietileno.

El uso del plástico en el siglo XX avanzó conforme avanzaron las tecnologías, es así como en 1908 se creó el moldeo por compresión para plásticos, cuando Leo



**Figura 1.** Etapas del proceso de fabricación de placas.

Baekeland desarrolló las resinas de fenol-formaldehído, que siguen empleándose hoy en día. Por su parte, en 1936 se comenzó con la producción del ABS, el plástico de alta resistencia mecánica más utilizado en la industria de la automoción (López *et al.*, 2020). Iniciando la segunda mitad del siglo XX, el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno, mientras que el italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, ambos los plásticos más utilizados en la actualidad. En 1963, estos científicos compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios acerca de los polímeros (Martínez *et al.*, 2020). En esta misma década, específicamente en 1967, fue desarrollada por el ingeniero de Dupont Nathaniel Wyeth, la botella de plástico que resiste grandes presiones.

El avance del uso de plásticos generó problemas medioambientales propiciados por la acumulación de desechos, de allí que en 1970 se conmemoró por primera vez el Día de la Tierra, dedicado a crear conciencia con respecto a este problema; asimismo, y para poner en valor la importancia del reciclaje, se crean las 3R: reciclar, reemplazar y reutilizar (Barral, 2020). Esta concientización llevó a que a partir de la década de 1980, la industria del plástico liderara una iniciativa que alentó a recolectar y procesar los plásticos usados como parte de sus sistemas de gestión de residuos.

En el siglo XXI el plástico sigue dando de qué hablar, y es que en 2016 investigadores japoneses descubrieron en vertederos una nueva especie de bacteria bautizada como *Ideonella Sakainesis*, la cual se alimenta del plástico de las botellas y envases al secretar un par de enzimas capaces de descomponer en solo seis semanas el tereftalato de polietileno (PET). Asimismo, según el informe titulado *Plastics the facts*

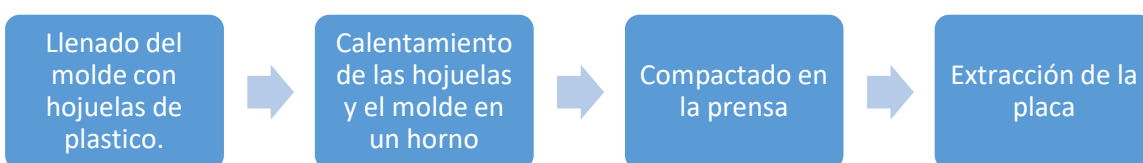
2018, publicado por *Plastics Europe*, en 2017 la producción mundial de plásticos alcanzó los 348 millones de toneladas y creció 3.8 % con respecto a 2016. En este contexto, destacan las siguientes cifras regionales de producción de plásticos: Asia 50.1 % (incluye a China como el mayor productor con 29.4 %), Europa 18.5 %, Norteamérica (Canadá, EUA y México) 17.7 %, Oriente Medio y África 7.1 %, América Latina 4 % y la Comunidad de Estados Independientes formados por las exrepúblicas soviéticas con 2.6 % (Martínez A. *et al.*, 2020).

## Metodología

### Descripción del método: Etapas del proceso de fabricación de placas

Una vez que el material reciclado es lavado y triturado, pasa por una máquina de llenado de los moldes; una vez lleno, este se enrasa y pasa a un horno eléctrico el cual calienta el material a temperaturas de hasta 285 °C; en estado de fundición, el material pasa a la prensa de compactado que le dará la forma a la placa; finalmente, una vez enfriada la placa se extrae (ver Figura 1).

Específicamente en este trabajo se diseña la parte del proceso de la prensa hidráulica que servirá para el compactado del material. Las presiones para el compactado de plástico varían desde uno hasta 6.8 MPa; el calor que se aplica tiene como rangos de temperatura de 225 °F a 325 °F (107 °C a 163 °C); y los ciclos pueden variar desde menos de un minuto a 15 minutos (Sinchi G., 2018; Díaz del C., 2012; ver Figura 2).



**Figura 2.** Etapas del proceso de compactado.

### Selección del tipo de prensa y características

Se selecciona diseñar una prensa con estructura cerrada tipo H de doble acción con una capacidad de 676 kN (Figura 3), la cual tendrá un desplazamiento de la platina inferior de 304.8 mm de carrera. El objetivo del diseño de la prensa, es elaborar placas de plástico reciclado de 600 x 600 mm, con una presión máxima de cierre de 1.6 MPa, y una producción de cuatro placas/hora.

Para que el resultado del trabajo se realice en óptimas condiciones, es necesario controlar la prensa por medio de componentes que, al momento de realizar cada uno sus funciones de manera coordinada, hagan que funcione automáticamente. Estos componentes son:

**Grupo de actuación.** Se selecciona un actuador lineal de doble acción con una capacidad de hasta 68.95 MPa.

**Grupo de generación.** Se selecciona una unidad de potencia de mediana presión con una capacidad de hasta 20.7 MPa y un flujo de 6.5 gpm.

**Grupo de conexión.** Se selecciona una manguera de 7.9 mm de diámetro interno y una presión máxima de trabajo de 20.7 MPa.

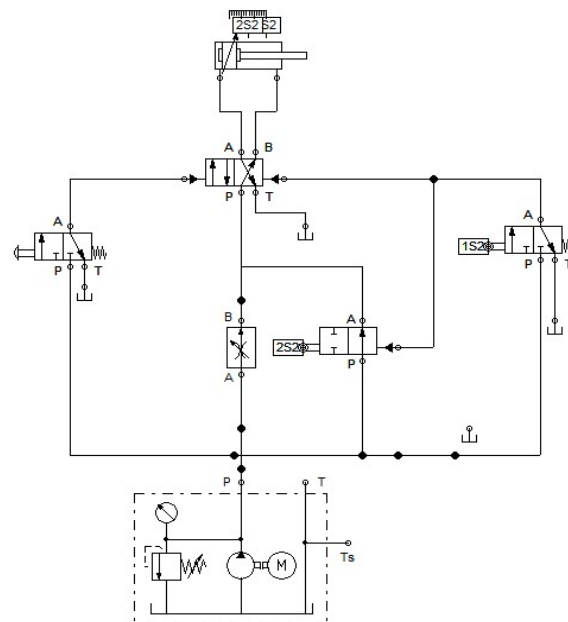
**Grupo de control.** Se cuenta con cinco válvulas, a saber: una válvula estranguladora; dos válvulas de tres vías y dos posiciones que permiten, indirectamente, el control de avance y de retroceso del actua-



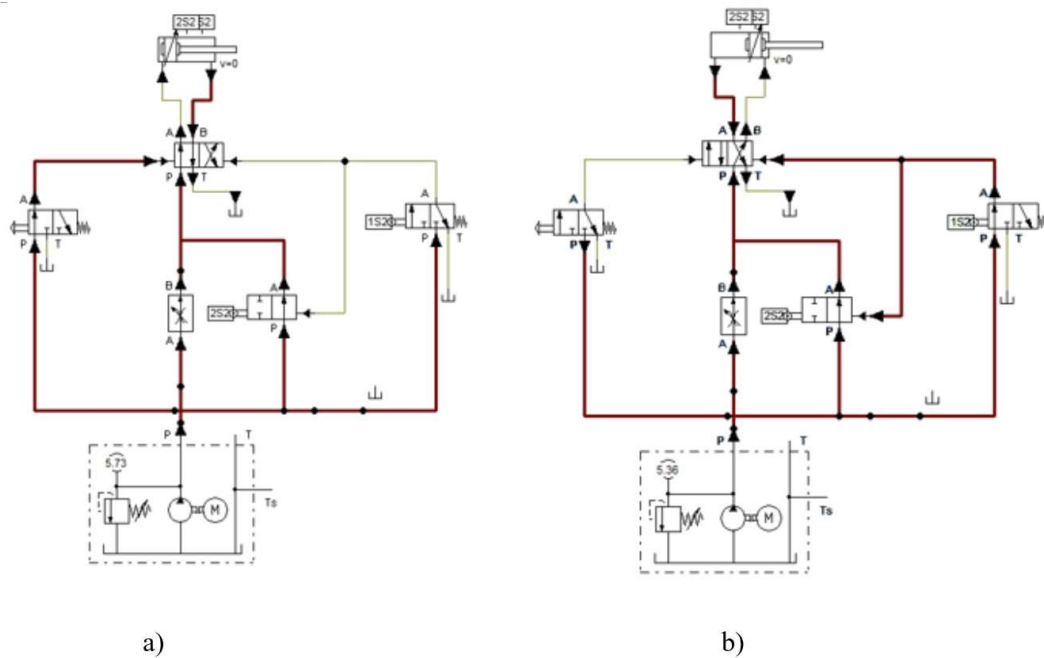
**Figura 3.** Prensa tipo H.

dor; una válvula de dos vías y dos posiciones que permite que el retroceso del actuador sea más rápido que el avance; y una válvula de cuatro vías y dos posiciones que será la que directamente va a controlar el avance o retroceso del actuador, esta válvula a su vez es controlada por las dos válvulas de tres vías dos posiciones, este se muestra en las figuras 4 y 5.

En un principio la prensa se encuentra normalmente abierta, esto quiere decir que el actuador o cilindro de doble efecto dentro del circuito hidráulico, se encuentra contraída (Figura 4). Una vez que se acciona la válvula de tres vías y dos posiciones que en el diagrama se encuentra del lado izquierdo, el fluido comienza a realizar su recorrido de tal manera que llega hasta la válvula del control del estado de la prensa o del cilindro de doble efecto y la cambia de posición.



**Figura 4.** Diagrama del circuito hidráulico.



**Figura 5.** Circuito hidráulico con diferentes posiciones: a) Válvula de control activada, comienzo de trabajo del circuito hidráulico, b) Activación de válvula para la contracción del cilindro.

Cuando la válvula de control de cuatro vías y dos posiciones cambia su posición, el fluido realiza su recorrido hasta el actuador empujando el émbolo para que el vástago comience a salir y la prensa empiece a realizar su trabajo (Figura 5a). Al terminar su recorrido el vástago, la prensa se encuentra en un estado normalmente cerrado, lo que indica que el trabajo está realizado (Figura 5b). Después, el sensor que indica el final de la carrera del vástago, activa la válvula de tres vías y dos posiciones que en el diagrama se encuentra del lado derecho del circuito, lo que hace que el fluido realice otro recorrido para cambiar a la posición inicial la válvula de control del estado de la prensa. En ese punto, el fluido empuja de nuevo al émbolo para que el vástago se contraiga dentro del cilindro. Conforme el émbolo es empujado más adentro del cilindro, las válvulas vuelven a sus posiciones iniciales preparándose para un nuevo ciclo.

### Selección del material

La estructura de la prensa se realiza con acero A36, el cual tiene las propiedades indicadas en la tabla 1.

### Dimensionamiento de elementos principales

Un miembro, sometido a carga, falla cuando se rompe o deforma en exceso, lo que lo hace inaceptable para el propósito pretendido. Por ello, es esencial que el nivel del esfuerzo aplicado nunca exceda la resistencia máxima a la tensión o la resistencia a la cedencia del material. El esfuerzo de diseño, es ese nivel de esfuerzo que puede desarrollarse en un material al mismo tiempo que se garantiza que el miembro cargado es seguro. El factor de seguridad ( $N$ ) es un número entre el cual se divide la resistencia reportada de un material para obtener el esfuerzo de diseño ( $\sigma_d$ ), y para su cálculo se utilizan las siguientes ecuaciones, basado en resistencia a la cedencia (Mott, 2009).

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad (1)$$

basado en resistencia máxima

$$\sigma_d = \frac{S_u}{N} \quad (2)$$

Tabla 1 Propiedades del acero A36 (Mott, 2006).			
Material ASTM núm.	Resistencia Máxima $s_u$	Resistencia a la cedencia $S_y$	Porcentaje de alargamiento en 2 in
A36	400 MPa	248 MPa	21
4140 OQT 700	ND	1462 MPa	ND



Por su parte, para el diseño del marco de la prensa como una viga que se encuentra apoyada en sus ex-

**Tabla 2**  
Factores de diseño de acuerdo al tipo de material y carga aplicada.

la carga	ductil	fragil
Estática	$\sigma_d = s_y/2$	$\sigma_d = s_u/6$
Repetida	$\sigma_d = s_u/8$	$\sigma_d = s_u/10$
Impacto o choque	$\sigma_d = s_u/12$	$\sigma_d = s_u/15$

hidráulica se consideró que este está sometido a esfuerzo del tipo estático, ya que los elementos se someterán a una carga aplicada lentamente, sin choque y con un valor constante (Mott, 2006).

El esfuerzo de diseño calculado de los elementos sometidos a carga axial o flexionante, se determinó considerando un factor de diseño de  $N=3$ , ya que la carga es estática y el material seleccionado es dúctil; no obstante, se considera un poco mayor debido a que pueden existir cambios de carga a lo largo del tiempo que no se estén considerando:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} = \frac{248}{3} = 82.7 \text{ MPa} \quad (3)$$

Ahora determinamos el área de sección transversal mínimo exigido de la sección requerida:

$$A_T = \frac{P}{\sigma_d} = \frac{676000N}{82.7 \text{ N/mm}^2} = 8174.1 \text{ mm}^2 \quad (4)$$

La estructura de la prensa divide la carga total en cuatro columnas, por lo cual el área mínima necesaria en cada una de las columnas es:

$$A_c = \frac{A_T}{4} = 2044 \text{ mm}^2 \quad (5)$$

Se selecciona utilizar perfiles del tipo Canal para las columnas. Cada columna de la prensa estará constituida por dos canales C152 x 12.2 con un área total de  $3084 \text{ mm}^2$  (Frías, 2002). Para determinar la longitud de las columnas se tomó en cuenta el cilindro hidráulico seleccionado, la carrera del pistón, los espesores de las platinas, el ancho de la viga y la altura de la pieza llamada distribuidor, dando como resultado 1 700 mm.

Para el elemento sometido a flexión, el cual tiene una longitud de 800 mm, se analiza simplemente

tremos sometida a una carga uniformemente distribuida en la parte central, tal como se indica en la figura. Se obtiene el valor máximo del momento y se dimensiona el elemento conociendo el esfuerzo de diseño del material (ver Figura 6).

$$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_d} = \frac{36000}{82.7} = 4.35 \times 10^5 \text{ mm}^3 \quad (6)$$

Se propone usar dos canales C 254 x 22.76 (Frías, 2002) en forma de cajón con un módulo de sección de  $4.42 \times 10^5 \text{ mm}^3$  para resistir esta carga.

### Diseño de pernos de conexión

Cuando los miembros se someten a esfuerzos cortantes, el diseño debe basarse en el esfuerzo cortante de diseño ( $\tau_d$ ). Para la resistencia a la cedencia a cortante, una estimación frecuentemente utilizada es:

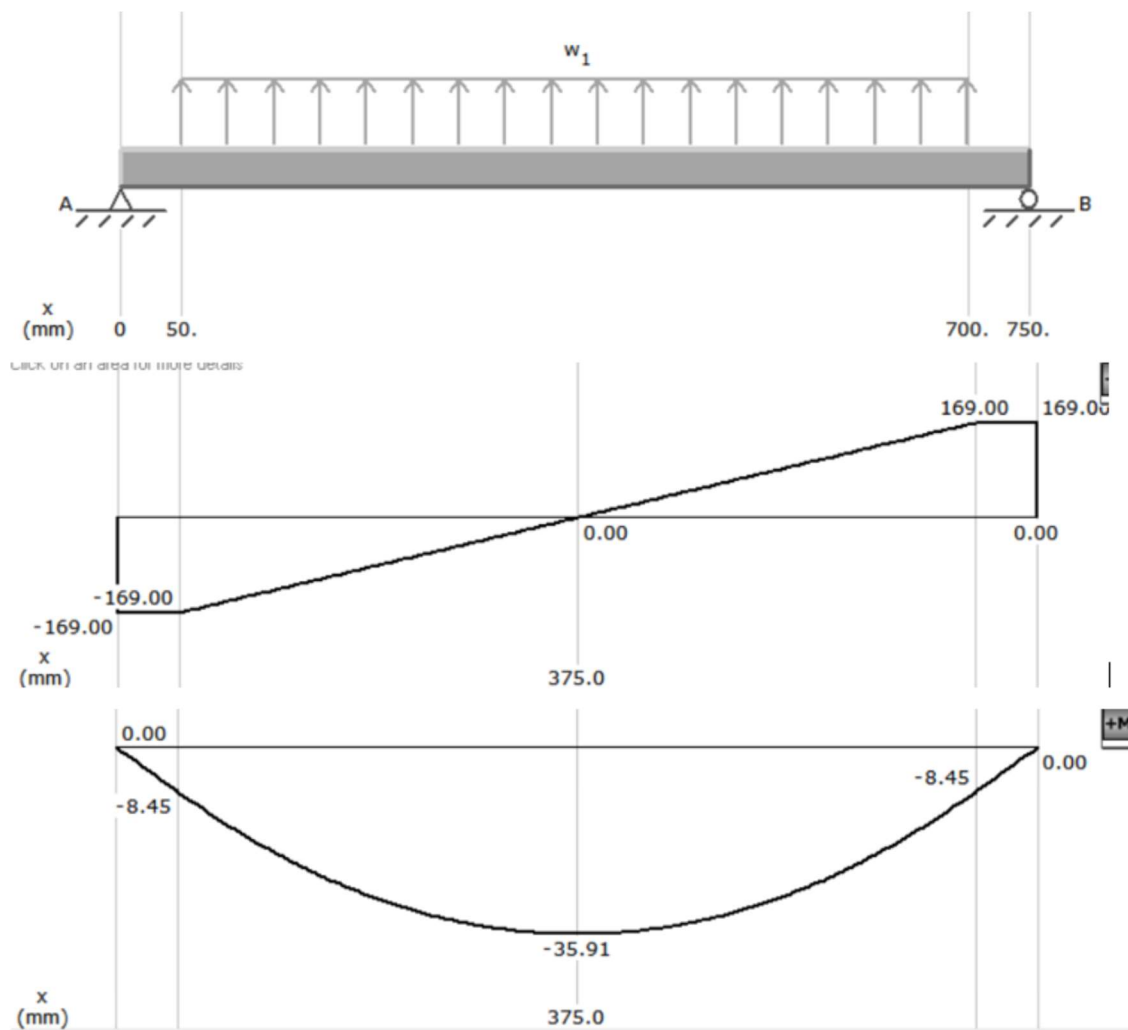
$$S_{ys} = \frac{S_y}{2} \quad (7)$$

Para un tornillo de acero 4140 OQT 700, el esfuerzo mínimo de tensión es de cedencia  $S_y = 1462 \text{ MPa}$

$$\tau_d = \frac{S_y}{2N} = \frac{1462}{2(4)} = 182.75 \text{ MPa} \quad (8)$$

La junta considerada será una junta excéntrica-mente cargada y se calculará la distribución de las fuerzas entre los sujetadores. Consideraremos el efecto del par en el sujetador. La figura muestra la conexión propuesta entre la columna y la viga. La fuerza neta está dirigida hacia arriba a una distancia de A del centro del patín de la columna. La fuerza total se compone de la fuerza cortante y del momento producido por las fuerzas (Mott, 2009).





**Figura 6.** Diagrama de distribuciones de la fuerza sobre las vigas de la prensa, diagrama de fuerza cortante (kN) y momento flexionante (kN m).

Analizando el tornillo 1 situado abajo a la derecha:

La fuerza cortante directa  $R_p$  es:

$$R_p = \frac{676}{48} = 14.08 \text{ kN} \quad (9)$$

$$\tau_d = \frac{R_{T1}}{A} \quad (13)$$

$$A = \frac{R_{T1}}{\tau_d} = \frac{90.57}{182750} = 495 \text{ mm}^2 \quad (14)$$

Fuerzas que resiste el momento:

$$R_{1x} = \frac{M_{y1}}{\Sigma(x^2+y^2)} = \frac{27.7(61.5)}{24.729} = 68.9 \text{ kN} \quad (10)$$

$$R_{1y} = \frac{M_{x1}}{\Sigma(x^2+y^2)} = \frac{27.7(40)}{24.729} = 44.8 \text{ kN} \quad (11)$$

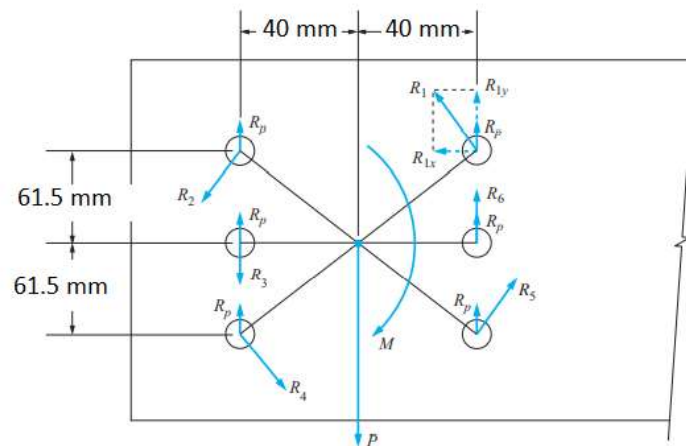
$$R_{T1} = \sqrt{R_{1y}^2 + R_{1x}^2} = \sqrt{58.8^2 + 68.9^2} = 90.57 \text{ kN} \quad (12)$$

El diámetro del perno:

$$d = \sqrt{\frac{4R_t}{\pi\tau_d}} = 25.1 \text{ mm} \quad (15)$$

Se propone utilizar un diámetro de 1 pulgada (25.4 mm) para los pernos de conexión entre las columnas y las vigas (Figura 7).

Una vez determinadas las fuerzas máximas en las conexiones, se analizan los esfuerzos de apoyo de ellas. De acuerdo al Instituto Americano de Construcción de Acero AISC, el esfuerzo de apoyo no deberá exceder  $\sigma_{db} = 0.90s_y$  (Mott, 2006).



**Figura 7.** Conexión propuesta entre columnas y vigas.

$$\sigma_{db} = 0.90(248) = 223.2 \text{ MPa} \quad N = 1.11 \quad (16)$$

Se analiza el espesor  $t$  mínimo requerido para soportar la fuerza de 90.57 kN, para lo cual se realiza el siguiente cálculo:

$$t = \frac{R_{t1}}{\sigma_{db} D} = \frac{90.57}{(223200)(0.0254)} = 16 \text{ mm} \quad (17)$$

Analizados los espesores en el alma de los perfiles seleccionados, se observa que necesitan ser reforzados, por lo que se propone una placa de refuerzo de 12.7 mm de espesor en cada uno de los canales.

## Resultados

Los resultados de esfuerzos obtenidos después del cálculo de diseño de los elementos, se pueden observar en la tabla 3, donde se muestra que estos elementos críticos cumplen con los factores de diseño seleccionados para la carga a la cual van a estar sometidos. Finalmente, se agrega una descripción de otros elementos que componen la prensa hidráulica.

### Diseño de otros componentes de la máquina

**Platinas.** Estas se harán de placas de acero A36 de 650 x 650 mm y 2 pulgadas de espesor, las cuales tendrán la función de distribuir uniformemente la presión al molde para la fabricación de láminas de plástico reciclado, además de ayudar a soportar la carga. Estas placas se unirán a la parte de la viga, a la cual se le soldará un ángulo perforado como se muestra en la figura 7, mediante pernos en sus vértices con cabeza avellanada, ya que se requiere que la superficie sea

lisa. Al utilizar estas platinas, el módulo de sección para soportar la carga de flexión en la viga superior e inferior, aumentará hasta obtener un valor del módulo de sección  $S = 7.29 \times 10^5 \text{ mm}^3$ , cumpliendo los requisitos mínimos de resistencia de la estructura.

**Tabla 3**

Elementos principales y sus esfuerzos reales.

Elemento	Esfuerzo real (MPa)	Factor de diseño real
Columna	55.46	N= 4.4
Viga	81.39	N=3.04
Tornillos	178.74	N=8.18
Apoyo con placa de refuerzo (viga)	189.66	N=1.30
Apoyo con placa de refuerzo (columna)	200.55	N=1.23

**Placas sujetadoras de columna.** Estas se localizan en los extremos de las columnas y proporcionan rigidez, además de eliminar cualquier desplazamiento de separación entre ellas. Estas se sujetarán a los perfiles de canal por medio de pernos.

**Distribuidor de presión.** Este elemento se acopla al cilindro hidráulico, su función es la de distribuir la fuerza a las platinas.

**Refuerzos centrales.** Este refuerzo se localiza entre las vigas y tiene como función dar rigidez y mayor resistencia a las platinas superior e inferior, así como im-

pedir la deformación. Se conectan con las vigas mediante pernos.

## Modelado

Desde hace muchos años, ingenieros, dibujantes y diseñadores han utilizado las computadoras para realizar cálculos matemáticos; sin embargo, a mediados del siglo XX, las computadoras se comenzaron a utilizar para elaborar diseños, es por eso que hoy en día se han convertido en un factor importante para producir, modificar y transmitir dibujos originales (Ca-reaga, 2017).

Para conseguir un producto final es necesario realizar el primer paso: el diseño. En la industria actual se hace a través del CAD, diseño que consiste en el uso de sistemas informáticos para la creación o modificación de representaciones gráficas de un producto físico en dos o tres dimensiones. Esta tecnología tiene como función principal realizar la geometría del diseño, ya sea pieza o circuito, calculando sus propiedades físicas y el modelado. Este paso es importante para poder pasar al segundo: la fabricación.

Para el modelado de los elementos que componen la prensa y su ensamblado, se utilizó el software Solidworks® como se muestra en las figuras 8 y 9.

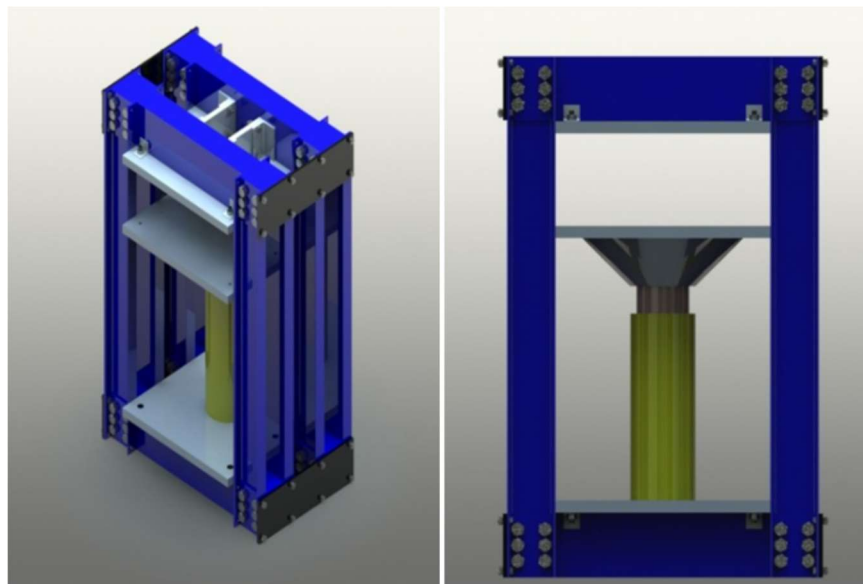
## Conclusiones

En el presente trabajo se desarrolló el diseño mecánico de una prensa hidráulica que tiene como función crear placas de plástico reciclado de HDPE y/o PP,

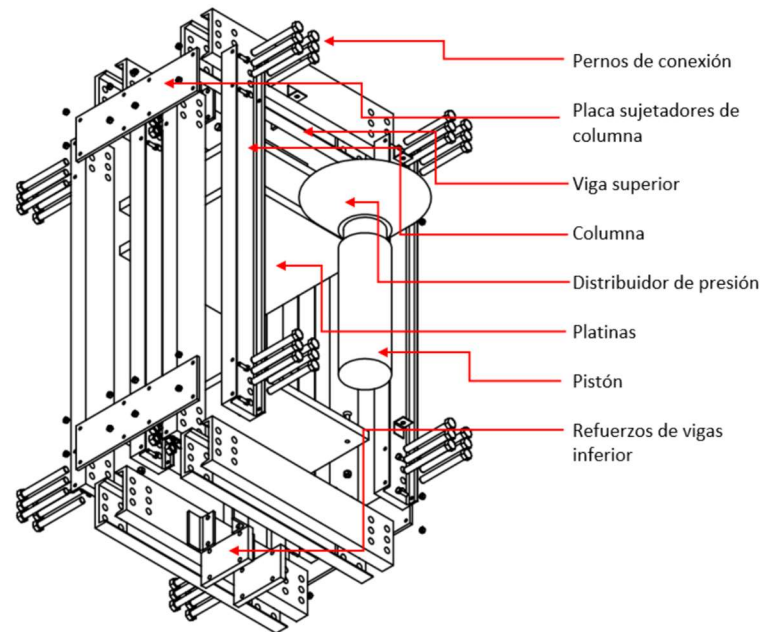
utilizando el método de moldeo por compresión. Para llevar a cabo dicho diseño, se comenzó por analizar las presiones requeridas para conformar las placas de HDPE reciclado. Posteriormente, se realizó el diseño de control de la prensa y con ayuda de un software SolidWorks® se realizó el esquema, una vez seleccionados los elementos que componen el control, se elaboró el diseño de la prensa tipo H, considerando que se encuentra sometida a cargas estáticas con lo que se determinó utilizar un factor de diseño de  $N=3$  para la viga y las columnas. Asimismo, se seleccionaron perfiles comerciales de acero A36, para facilitar la elaboración de la prensa.

Seguidamente se determinaron los esfuerzos una vez seleccionados los perfiles, dando como resultado factores de diseño mayores a los seleccionados. Luego, se realizó un análisis para determinar la carga máxima que debían soportar los pernos que conectan la columna con la viga; hecho esto, se seleccionó el material acero 4140 y se determinó el diámetro de estos. Posteriormente se analizaron los esfuerzos de apoyo en las conexiones entre las columnas y las vigas, observándose que se necesita aplicar un refuerzo, para lo cual se sugiere utilizar una placa de  $\frac{1}{2}$  pulgada de espesor en acero A36, con lo cual cumpliría el esfuerzo permisible de apoyo sugerido por la AISC.

Finalmente, se utilizó un software para la elaboración del modelado de los componentes de la prensa y para el ensamblaje, programa que permite observar el montaje correcto de las piezas y el funcionamiento requerido de la prensa.



**Figura 8.** Modelado de prensa tipo H con platinas en SolidWorks®.



**Figura 9.** Explosivo del ensamble de prensa hidráulica en Solid Works®.

## Recomendaciones

Realizar la simulación estática de las vigas, columnas y pernos, utilizando un software para comprobar los resultados.

## Referencias

- Arandes, J.M., Bilbao, J., and López, D., 2004, Reciclado de residuos plásticos: *Revista Iberoamericana de polímeros*, 5, 1, 28-45.
- Barral, M., "Historia del reciclaje: De recurso ante la escasez a movimiento Medio Ambiental", Open Mind BBVA, <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/historia-del-reciclaje-recurso-ante-la-escasez-movimiento-medioambiental/>
- Beltrán Rico, M., and Marcilla Gomiz, A., 2012, Tecnología de Polímeros Procesado y Propiedades: *España, Publicaciones Universidad de Alicante*, p. 276.
- Careaga, A., "CAD/CAM: el procedimiento para la elaboración de un producto", Parque de Innovación (Comunicación y Difusión PIT-UAS) <http://innovacion.uas.edu.mx/cadcam-el-procedimiento-para-la-elaboracion-de-un-producto-2/>
- Díaz del Castillo, F., 2012, Conformado de materiales plásticos: *México, Universidad Nacional Autónoma de México*, p. 83.
- Frías, B., 2002, Manual de construcción de acero, IMCA 4ta Edición: *México, Ed. Limusa*, p. 492.
- Justo, I., "El proceso de reciclaje de una botella de plástico", <https://www.ecologiaverde.com/el-proceso-de-reciclaje-de-una-botella-de-plastico-152.html>
- López, A., and Alcalde A., 2020, Materiales. Una historia sobre la evolución humana y los avances tecnológicos: *Burgos, Ediciones de la Universidad de Burgos*, p. 147.
- Martínez Arroyo, M.A., Ruíz Suarez, L.G., and Gavilán García, A., 2020, "Panorama General de las Tecnologías de Reciclaje de Plásticos en México y en el Mundo", Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/608513/89\\_2020\\_Documento\\_Plastico.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/608513/89_2020_Documento_Plastico.pdf)
- Martínez Navarro, F., and Turegano García, J.C., 2020, "Los Polímeros y la Nanotecnología, Ciencias para el Mundo Contemporáneo", [http://www3.gobiernodecanarias.org/aciisi/cienciasmc/web/pdf/u8\\_nuevos\\_materiales.pdf](http://www3.gobiernodecanarias.org/aciisi/cienciasmc/web/pdf/u8_nuevos_materiales.pdf)
- MAXIPET, "Características del Polietileno de Alta Densidad, MAXIPET", <https://maxipet.net/blog/caracteristicas-del-polietileno-de-alta-densidad>
- Mott, R.L., 2009, Resistencia de Materiales: *México, PEARSON Educación*, p. 797.
- Mott, R.L., 2006, Diseño de elementos de máquinas, 4ta Edición: *México, Ed. PEARSON Educación*, p. 475.
- Redes, L., "¿Por qué es importante reciclar plástico?", <https://www.leonardo-gr.com/es/blog/por-qu-es-importante-reciclar-el-pl-stico>

Roca Girón, I.E., “Tipos de Reciclaje del Polietileno de Alta Densidad”, ROYMAPALST, S. L., <https://roymaplast.com/tipos-reciclaje-del-polietileno-alta-densidad/>  
Sinchi Guerrero, J.L., 2018, Experimentación de los plásticos HDPE y PP reciclados como materia prima para la

generación de mobiliario: Ecuador, Universidad del Azuay, p. 160.