

## **CAPÍTULO 5**

### **DISEÑO DE UNA MÁQUINA COMPACTADORA DE VIRUTA DE ALUMINIO**

#### **5.1. Diseño del Sistema Hidráulico de la Máquina Compactadora.**

Como ya se trató en el capítulo anterior, la necesidad de contar con una máquina compactadora de viruta de aluminio es vital para el proceso de reciclaje que se propone. Esta máquina deberá cumplir con todas las necesidades pero sin excederlas ya que esto significaría un aumento en el costo de su fabricación y operación. La seguridad del operador es también una consideración de vital importancia para el diseño de la máquina.

##### **5.1.1 Fuerza Necesaria para Compactar la Viruta.**

Lo primero que se necesita saber para poder comenzar con el diseño de la máquina es la presión necesaria para compactar de una manera adecuada la viruta de aluminio. Para poder encontrar esta presión se realizaron una serie de pruebas utilizando la máquina universal de la Universidad de las Américas Puebla, un pistón y una camisa para poder darle forma al aluminio compactado. En la Tabla 5.1 se muestran los distintos valores de fuerza utilizados y las diferentes dimensiones de las pastillas.

Como se puede observar a mayor fuerza, menor es la altura de la pastilla, pero mayor es el diámetro. Esto sucede sin que las medidas de la camisa del molde cambien, lo

cual da como resultado una mayor dificultad para extraer la pastilla, por lo que será necesario considerar un mecanismo de extracción a la hora de realizar el diseño.

La máquina universal nunca marcó una fuerza de 500 kg fuerza. para poder extraer las pastillas formadas, con este dato se puede concluir que se requerirá una fuerza considerable para la extracción de las pastillas, pero esta puede ser generada con la misma máquina.

Tabla 5.1 Resultados de la prueba realizada con la máquina universal en la universidad.

Fuerza [Kg. fuerza]	Diámetro [mm]	Altura [mm]	Aglomeración
10,000	60.2	48.8	Nula
15,000	60.6	42.3	Mala
20,000	60.8	31.7	Regular
25,000	60.9	28.9	Buena
30,000	61.1	26.9	Buena

Debido a la similitud entre las propiedades de la briqueta formada con 25,000 Kg. y la de 30,000 kg. fuerza, se escogió la primera como la fuerza que se utilizará en la máquina. Al no tener un cambio significativo en la aglomeración, y en busca de que la máquina sea lo mas económica posible, una diferencia de 5,000 kg, Fuerza, significa una diferencia considerable dentro del diseño del sistema hidráulico.

Para obtener la fuerza necesaria, que es de aproximadamente 250,000 N, se necesita un cilindro de dimensiones considerables, por lo que si se aumenta la fuerza unos 50,000 N el cilindro deberá ser más grande y por lo tanto con un costo mayor.

### 5.1.1.1 Propiedades de la Briqueta Obtenida en la Prueba.

El peso promedio de las pastillas obtenidas fue de 149.6 grs. y sus dimensiones como se puede observar en la tabla 5.1 varían dependiendo de la fuerza utilizada. En la figura 5.1 se puede observar la forma de la pastilla obtenida en el laboratorio utilizando 25,000 kg. fuerza. Si se saca la densidad de esta pastilla se obtiene un resultado de 1.95



Fig. 5.1 Briqueta obtenida en la prueba del laboratorio.

grs/cm<sup>3</sup> Lo cual comparado con la densidad del lingote de aluminio que es de 2.7 grs/cm<sup>3</sup> significa que se tiene un 66.% de compactación. La aglomeración que se obtuvo en esta briqueta es bastante aceptable y recibió muy buenos comentarios por parte del hornero de la fundición de Aluminio Fundido S.A. de C.V., al cual le pareció muy bueno el tipo de material que se le presentó.

Las dimensiones de esta pastilla en comparación con las que hacen otras máquinas en el mercado son relativamente similares por lo que para el diseño se utilizarán las mismas dimensiones del embolo y la camisa. Las dimensiones de la camisa son: diámetro exterior de 88.9 mm, diámetro interior de 60.3mm y altura de 100.2 mm y el diámetro del embolo es de 59.9 mm. Estas dimensiones serán las usadas para los cálculos necesarios para la máquina.

### 5.1.2 Circuito Hidráulico.

Para el diseño de la máquina hidráulica se buscará que ésta sea lo más sencilla posible, para efectos de la inversión inicial, costos de operación y de mantenimiento. En Aluminio Fundido S.A. de C.V., se cuenta con la oportunidad de adquirir una unidad de potencia de 10 hp., con una bomba de engrandes de 5 GPM, y una presión máxima de 2,000 psi. modelo 1986, la cual se tomaría como pago de un cliente moroso a muy bajo precio. Al parecer, esta unidad solo necesita servicio para poder volver a operar adecuadamente, por lo que se utilizarán sus especificaciones para el diseño del circuito hidráulico, con el fin de no gastar en una nueva unidad.

El circuito hidráulico se muestra en la figura 5.2. Como se puede observar este circuito es muy sencillo; esto se hizo con el fin de que los costos de todos los componentes no superaran los \$80,000.00 pesos. La máquina deberá contar con una válvula 4/3 de palanca (o eléctrica) con resorte, y el operador será el encargado de accionarla para que el cilindro de doble efecto, suba o baje a su consideración. El manómetro deberá estar en un lugar visible para que cuando la indicación de la presión alcancé el punto necesario, se accione el regreso del cilindro.

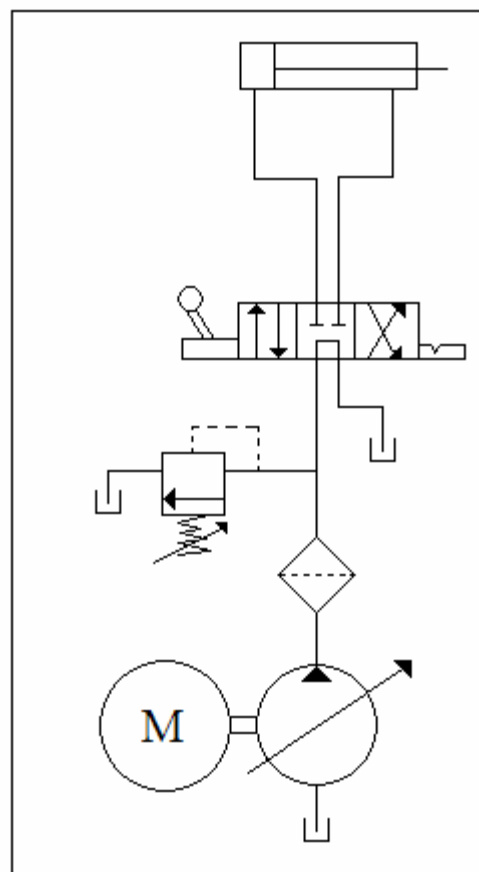


Fig. 5.2 Circuito hidráulico de la máquina compactadora.

### 5.1.3 Cálculos para el Sistema Hidráulico.

Se necesita una fuerza de 25,000 kg. fuera y un diámetro del molde de 60 mm aproximadamente, por lo que la presión necesaria para compactar la viruta es:

$$P = \frac{F}{A} \quad (5.1)$$

Donde: P es la presión en [MPa].

F es la fuerza en [N].

A es el área del embolo en [m]

$$\frac{25,000 \text{ kg. fuerza} \times 9.81 \text{ m/s}^2}{(30 \text{ mm})^2 \times \pi} = 86.7 \text{ MPa} \cong 867 \text{ bar.}$$

Para calcular el área del cilindro se utilizara una fuerza de 250,000 N, y una presión máxima de la unidad de poder de 130 bar.  $\cong$  2,000 psi. Ya que por la válvula 4/3 y los codos de las conexiones se llegara a tener caídas de presión:

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow A = \frac{F}{P} \quad (5.2)$$

Donde: A es el área del embolo en [m]

P es la presión máxima del sistema en [MPa].

F es la fuerza necesaria en [N].

$$\frac{250,000 \text{ N}}{13,000,000 \text{ Pa}} = 0.019 \text{ m}^2$$

Para calcular la velocidad de salida se considera un flujo de 18.75 dm<sup>3</sup>/min. (5 galones por minuto)

$$V_{\text{sal}} = \frac{Q}{A} \quad (5.3)$$

Donde:  $V_{\text{sal}}$  es la velocidad de salida del pistón en [m/min.].  
 $Q$  es el caudal de la bomba en [dm<sup>3</sup>/min.].  
 $A$  es el área interna del cilindro en [m<sup>2</sup>]

$$\frac{18.75 \text{ dm}^3/\text{min.}}{0.019 \text{ m}^2} = 0.98 \text{ m/min.}$$

Para calcular la velocidad de entrada se considera un flujo de 18.75 dm<sup>3</sup>/min. (5 galones por minuto) y un embolo de 60 mm de diámetro

$$V_{\text{ent}} = \frac{Q}{A} \quad (5.4)$$

Donde:  $V_{\text{ent}}$  es la velocidad de entrada del pistón en [m/min.].  
 $Q$  es el caudal de la bomba en [dm<sup>3</sup>/min.].  
 $A$  es el área interna del cilindro menos el área del embolo en [m<sup>2</sup>]

$$\frac{18.75 \text{ dm}^3/\text{min.}}{0.016 \text{ m}^2} = 1.17 \text{ m/min.}$$

Para obtener la potencia necesaria del motor:

$$P = p \times Q \quad (5.5)$$

Donde:  $P$  es la potencia necesaria en [Kw]  
 $p$  es la presión máxima del sistema en [MPa].  
 $A$  es el área interna del cilindro menos el área del embolo en [m<sup>2</sup>]

$$13 \text{ MPa} \times 18.75 \text{ dm}^3/\text{min.} = 4.06 \text{ Kw}$$

Al contar con una unidad de potencia de 10 hp ó 7.45 Kw no se tendrá ningún problema considerando una eficiencia total del sistema de 60% tal como lo muestra el cálculo siguiente:

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \longrightarrow P_{ent} = \frac{P_{sal}}{\eta} \quad (5.6)$$

Donde:  $P_{sal}$  es la potencia obtenida del sistema [Kw]  
 $P_{ent}$  es la potencia que se le da al sistema en [Kw].  
 $\eta$  es la eficiencia del sistema [sin unidades]

$$4.06 \text{ KW} / 0.60 = 6.7 \text{ Kw}$$

Debido a la presión que se maneja para el sistema y que ésta no es superior a los 1,500 MPa., no será necesario hacer cálculos para la compresibilidad del aceite. La caída de presión del sistema no debe superar los 3 bar, ya que se tiene una válvula 4/3 que por lo general su caída de presión es de 0.6 bar, y cuatro conexiones únicamente.

## **5.2. Soporte y Mecanismo de Expulsión.**

Para el diseño del soporte del cilindro y del molde de la briqueta, se observó que la mayoría de las prensas utilizaban barras de acero junto con vigas para sostener en su lugar el cilindro. En este caso el centraje del cilindro y el molde dependerá del maquinado de las piezas para que sea lo más preciso posible.

Debido a la gran presión ejercida sobre la viruta, ésta toma la forma del molde, pero también se queda presionando en contra de éste, por lo que retirar la briqueta del molde sin la ayuda del cilindro es prácticamente imposible. Es por esto que la máquina debe contar con un mecanismo para la fácil extracción de la briqueta. Al colocar una tapa móvil por debajo del molde, ésta no dejará pasar la viruta mientras el cilindro la oprime.



Fig. 5.3 Molde y émbolo utilizados en la prueba del laboratorio.

Una vez que la compactación ha sido realizada, el cilindro deberá retroceder un poco para permitir que la tapa sea retirada. Debajo de la tapa deberá haber un barreno de mayor diámetro para permitir que el cilindro baje de nuevo expulsando la briqueta por ahí. Este sistema de extracción nos permitirá usar el mismo cilindro de compactación para la extracción de la pastilla.

En el anexo A se presentan los planos para las piezas del soporte y el mecanismo de expulsión, ya que son éstas las únicas partes no estándares del diseño.

### **5.2.1 Esfuerzos y Deflexiones en el Soporte y el Mecanismo de Expulsión.**

Para poder asegurar el buen funcionamiento del soporte y el mecanismo de expulsión y considerando que se requiere de una gran fuerza para poder compactar las virutas de aluminio, a continuación se presentan los análisis realizados a las diferentes piezas.



En la figuras 5.4 y 5.5 se pueden observar los esfuerzos y las deflexiones que tendrá el espárrago en el momento que la fuerza alcance los 250,000 N. Como se puede observar, el esfuerzo normal en el espárrago es de  $6272.81 \text{ N/m}^2$  y la deformación que sufrirá es menor a 1 mm.

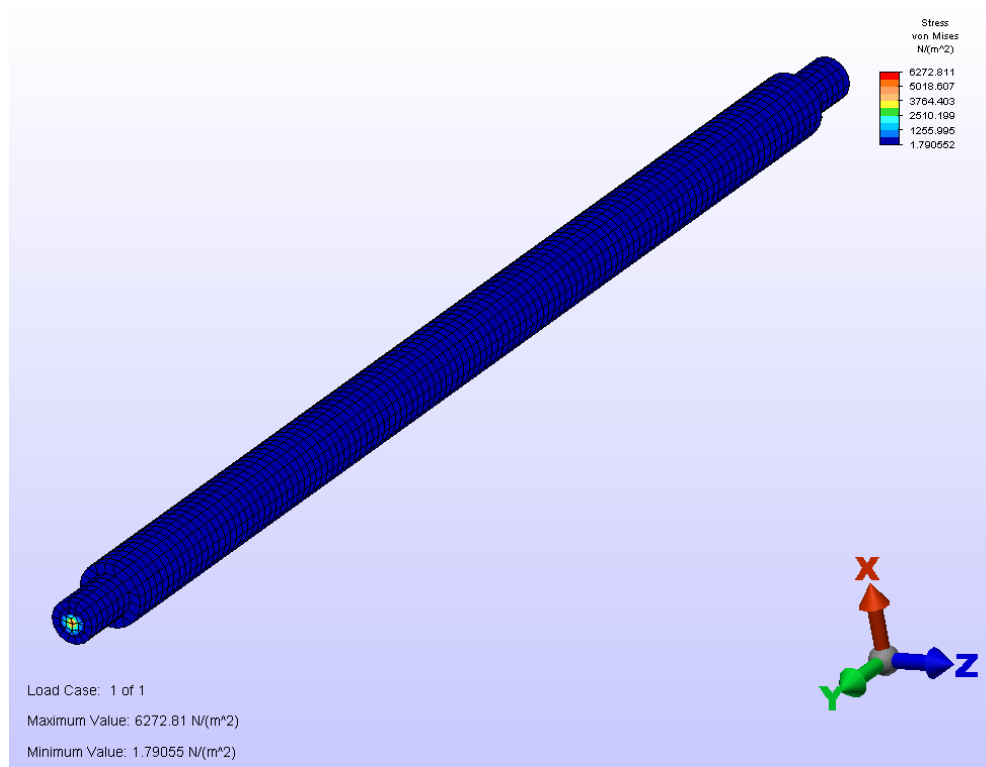


Fig. 5.4 Esfuerzos en los espárragos.

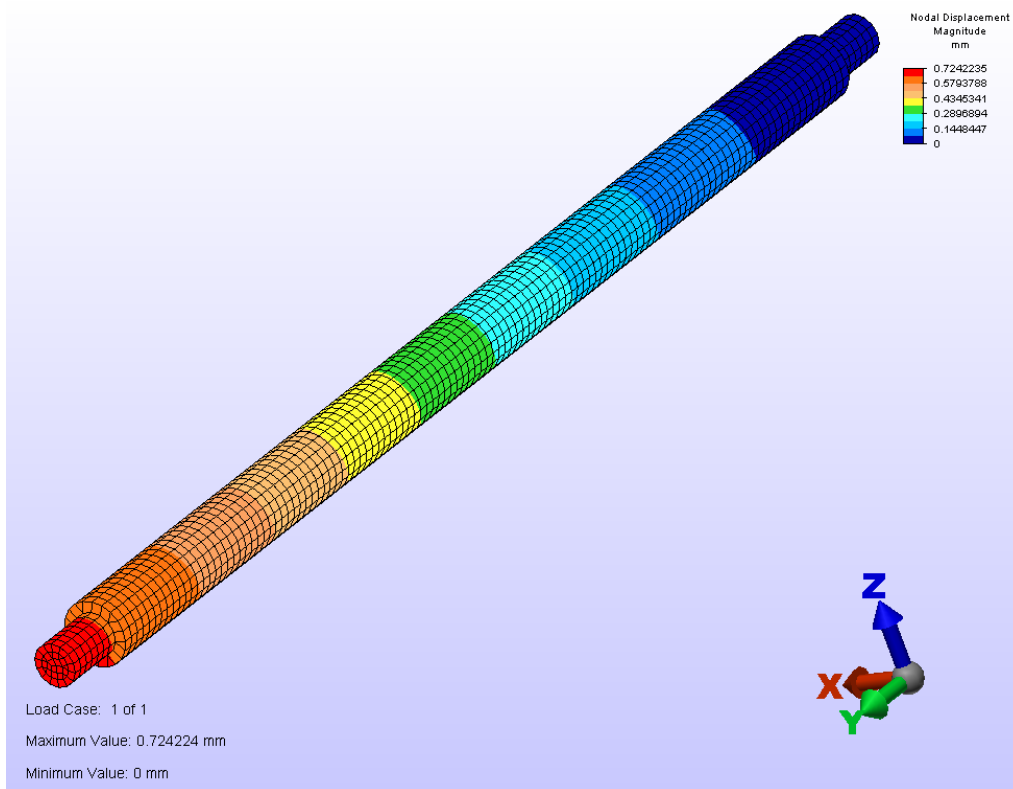


Fig. 5.5 Deformación en los espárragos.

Para el siguiente caso en las figuras 5.6 y 5.7 se pueden observar los esfuerzos y la deflexiones que sufrirá el molde a la hora llegar a la máxima presión del sistema. Al ser una presión la que estará involucrada en esta parte de la máquina, se repartió la fuerza entre la superficie del molde tratando de simular la presión, aunque para este caso las fuerzas también son puntuales.

La deformación que sufrirá el molde está por debajo de los 0.063 mm y el esfuerzo máximo es de  $2553.03 \text{ N/m}^2$ , por lo se puede decir que sus dimensiones son adecuadas para el trabajo al cual estará sometido.

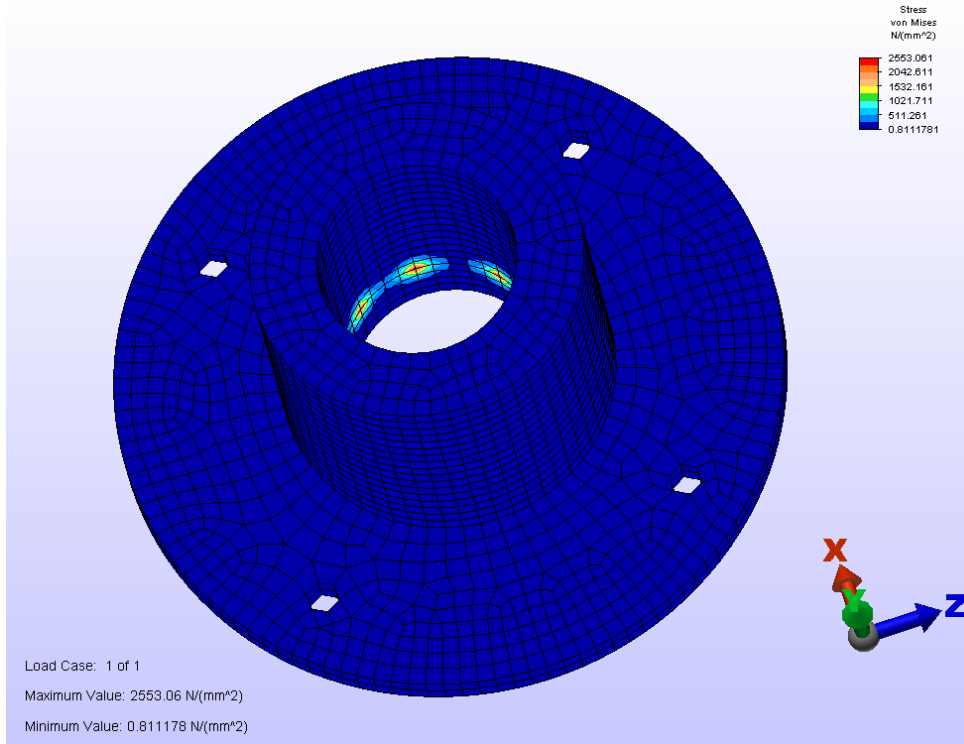


Fig. 5.6 Esfuerzos en el molde.

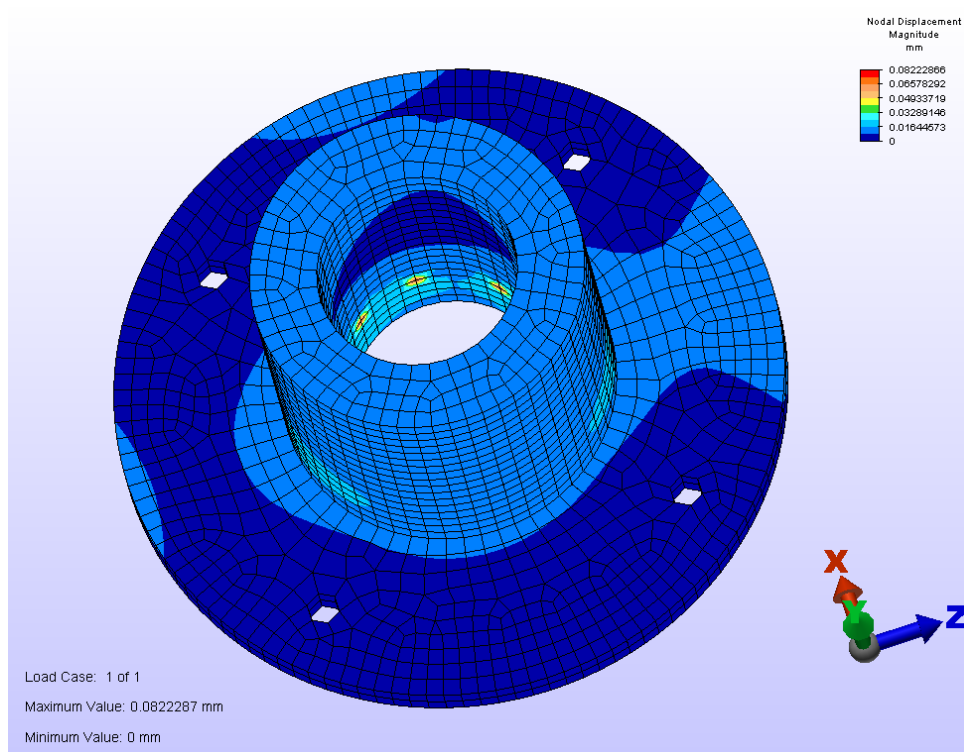


Fig. 5.7 Deformación en el molde.

En las figuras 5.8 y 5.9 se presenta la simulación realizada a la base del soporte, la cual estará sometida a través de la tapa de expulsión, a una gran fuerza; en esta parte del soporte los esfuerzos serán mucho más grandes, y se tendrá una deflexión mayor, aunque ésta no sobrepasará siquiera un milímetro de deflexión.

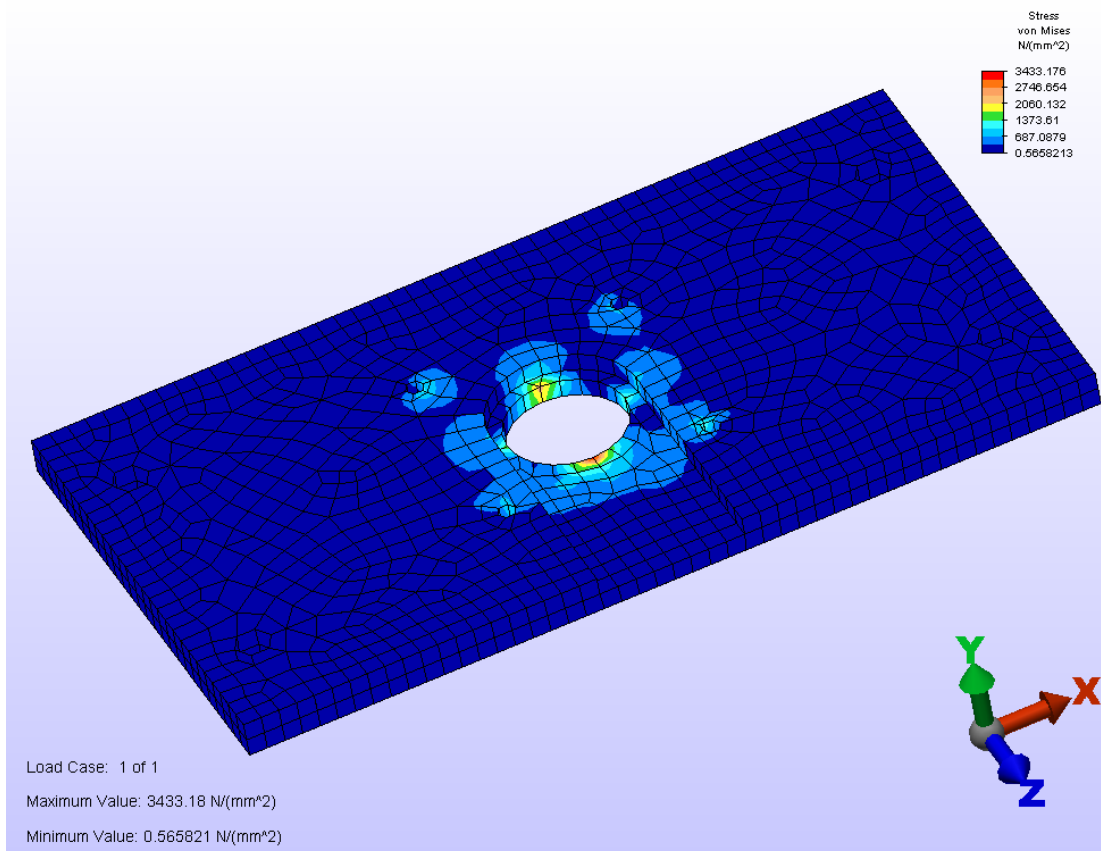


Fig. 5.8 Esfuerzos en la base

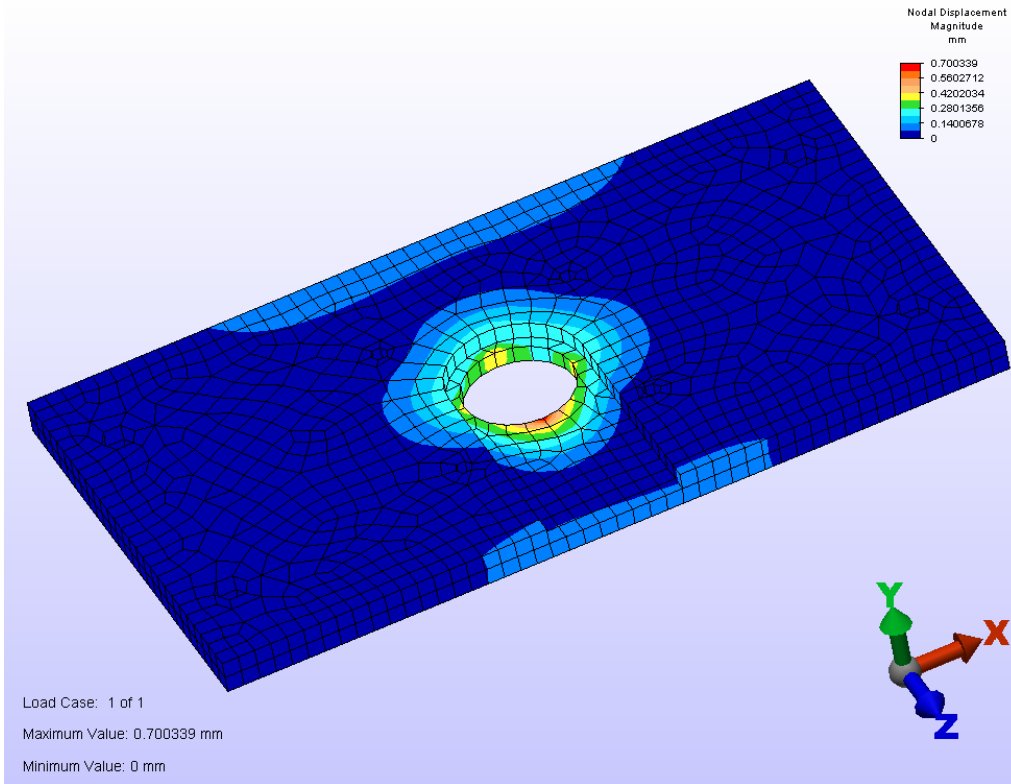


Fig. 5.9 Deformación en la base

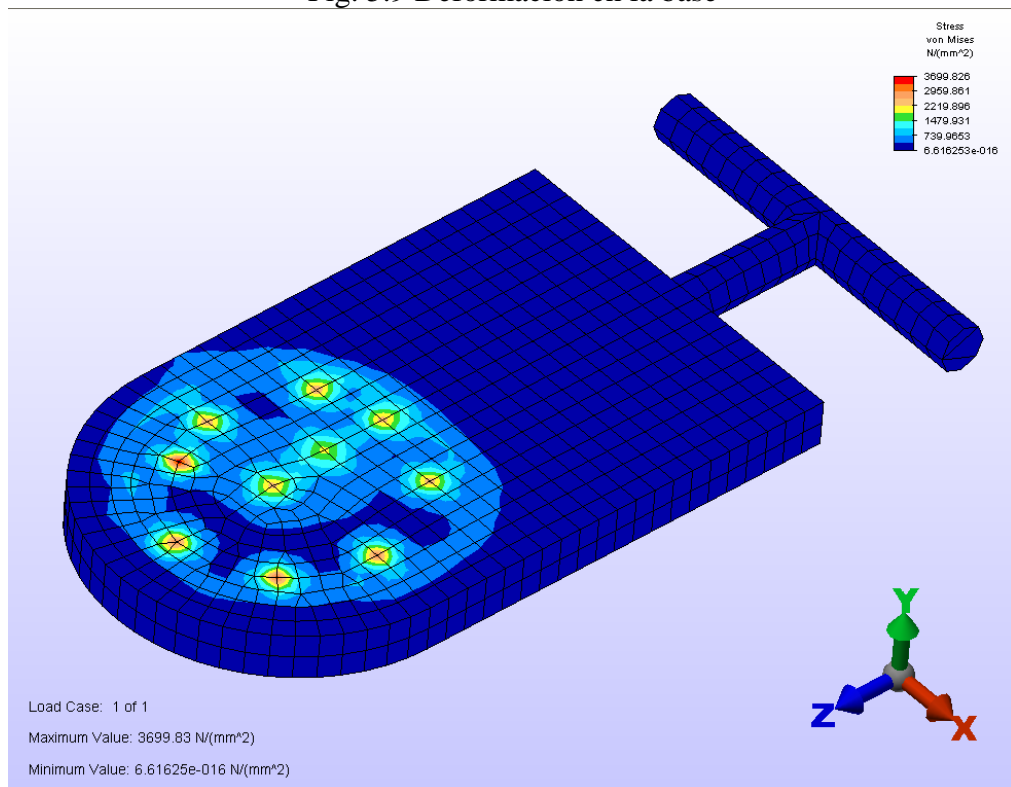


Fig. 5.10 Esfuerzos en la compuerta de expulsión.

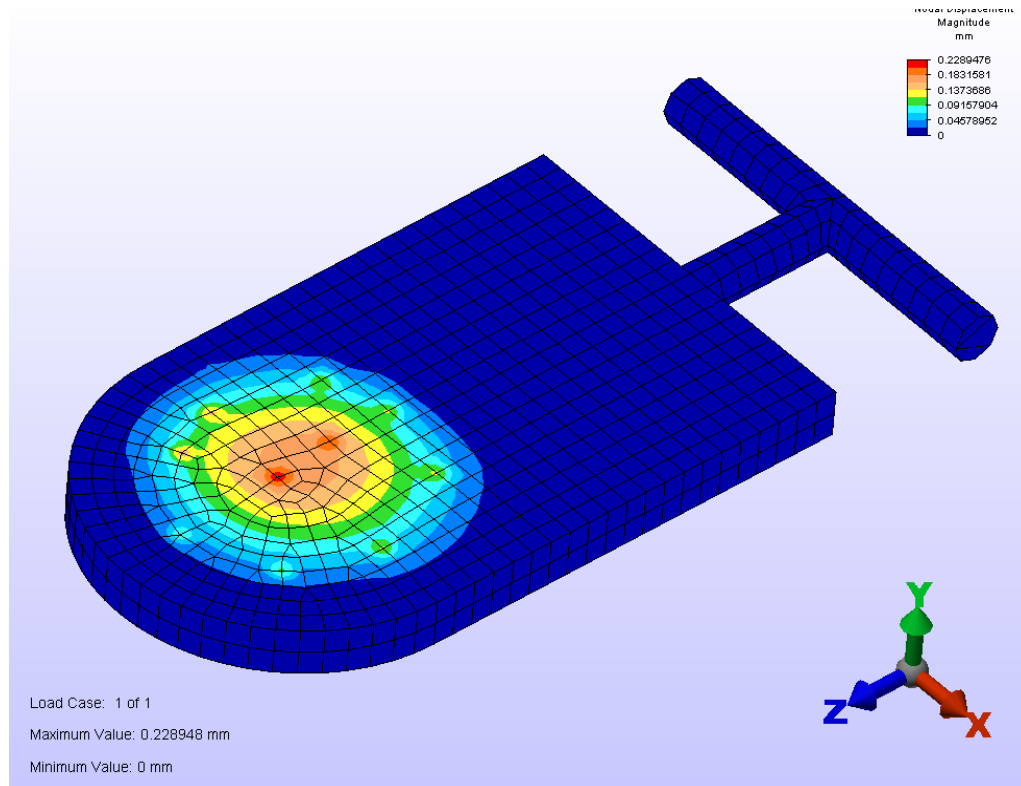


Fig. 5.11 Deformaciones en la compuerta de expulsión.

En las figuras 5.10 y 5.11 se pueden observar los esfuerzos y las deformaciones que sufrirá la compuerta de expulsión. Para estos valores, también se usaron fuerzas puntuales por lo que la deformación que sufrirá (0.2289 mm) será menor en realidad, al igual que los esfuerzos que en este caso se obtuvieron en  $[N/mm^2]$ .

En las figuras 5.12 y 5.13 se pueden observar los mismos efectos de esfuerzos y deformación, con lo cual finaliza el análisis de las piezas del soporte, demostrando que sus dimensiones y el material escogido son adecuados para que el soporte no sufra deformaciones por la acción del cilindro y la enorme fuerza que se necesitará para compactar el aluminio.

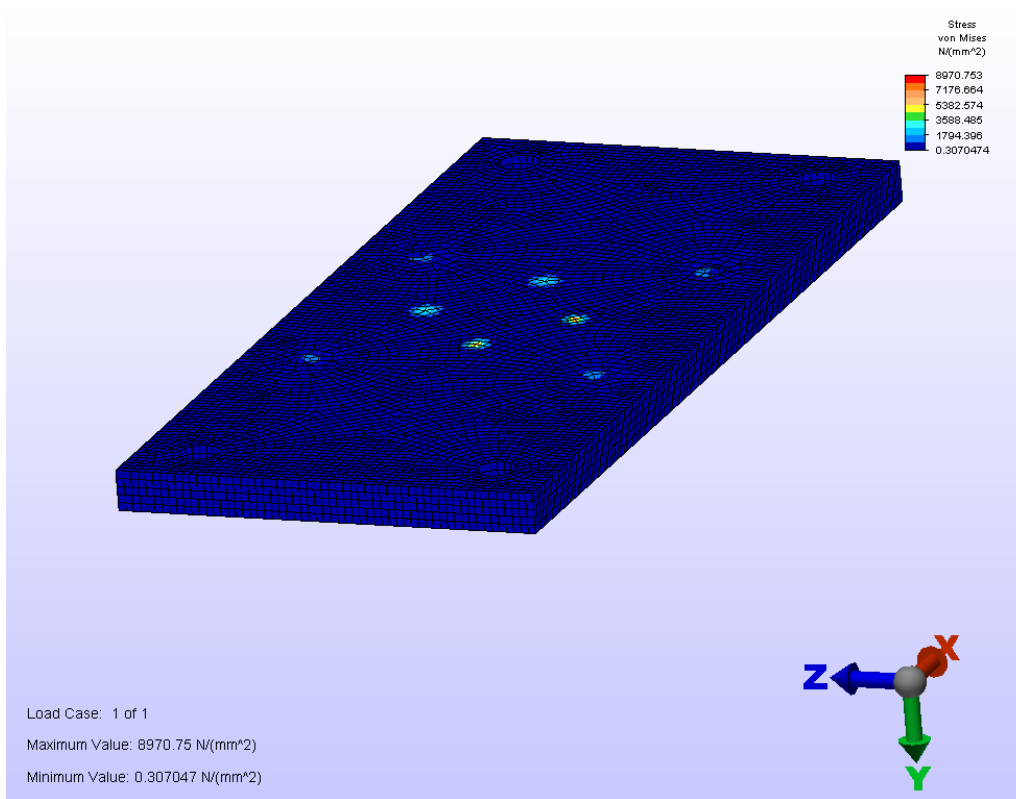


Fig. 5.12 Esfuerzos en el soporte del cilindro.

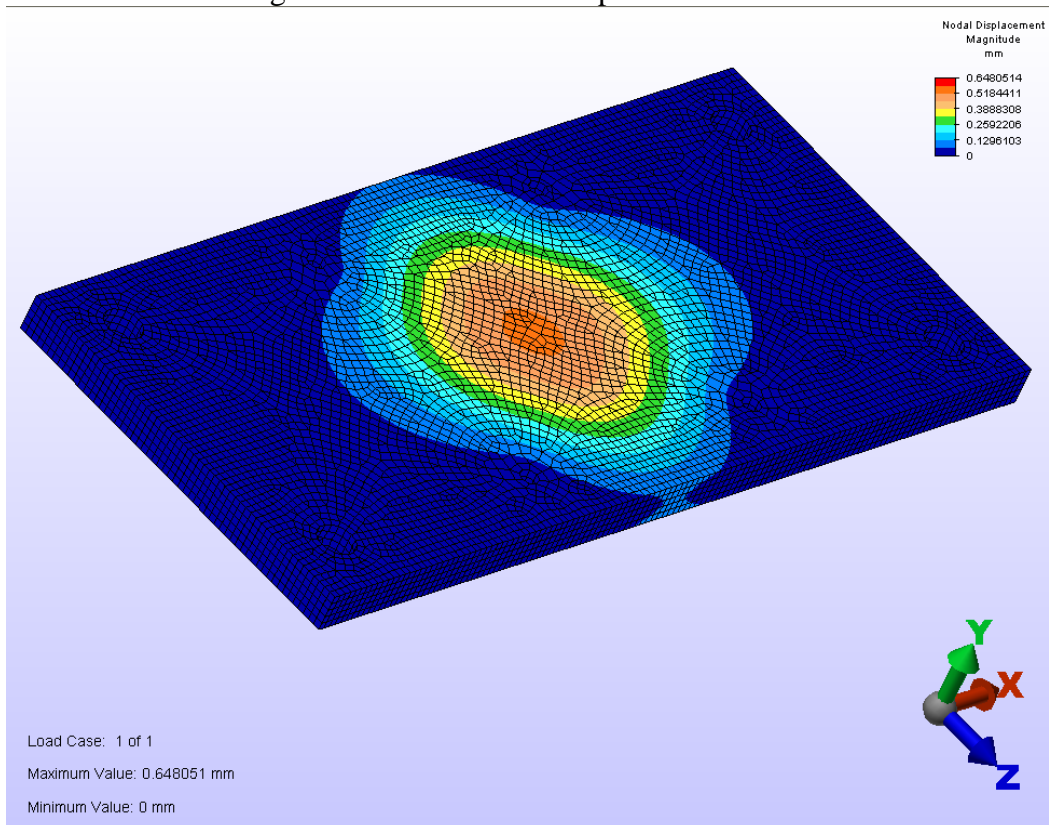


Fig. 5.13 Deformaciones en el soporte del cilindro.

Los análisis realizados a las distintas partes del soporte mostraron que un acero 1018 podría soportar los esfuerzos a los que será sometido, teniendo una deformación prácticamente nula. El acero 1018 es un material muy común, y muy económico también, por lo que es una buena opción para mantener los costos lo mas bajo posibles dentro de la construcción de la máquina compactadora.

En un principio las propiedades de acero AISI1018 podrían sonar adecuadas, pero se debe considerar que los esfuerzos a los cuales esta sometido el soporte serán cíclicos y no una fuerza constante como la que se muestra en el análisis. Esto ocasionara una fatiga dentro de los componentes del soporte y se podrían presentar seria deformaciones que afectarían de manera directa con el la correcta aglomeración del material.

Al utiliza un acero al cromo molibdeno, se incrementara el tiempo de vida del soporte ya que este es un acero de con muy buena resistencia a la fatiga, así como a la abrasión, es también resistente al impacto, y es posible tratarlo para endurecerlo, con lo cual podemos extender en gran medida la vida del molde y los espárragos al templar el material.

El material que se escogió para la realización del soporte fue el AISI 4140, este es uno de los aceros al cromo molibdeno mas comunes, y aunque es mas costoso que el AISI 1018, es conveniente debido a que no se practico un análisis de fatiga en las piezas. Los análisis mostrados anterior mente, confirman el uso de AISI 4140 ya que ninguna de sus propiedades físicas presenta valores mas bajos que el AISI 1018.



### **5.3 Componentes Estándar de la Máquina Compactadora.**

Todos los elementos del sistema hidráulico deberán ser estándar para poder mantener el costo de la máquina lo más bajo posible. A continuación se muestra una lista con los componentes estándar que serán utilizados en el circuito hidráulico, las especificaciones se encuentran en sistema inglés y los tornillos y las tuercas bajo la norma DIN:

1. Tanque con capacidad de 10 galones.
2. Motor trifásico de 10 hp.
3. Bomba con flujo 5 galones por minuto.
4. Manómetro con escala de 150 bar como mínimo.
5. Filtro para flujo de 5 gpm.
6. Válvula direccional 4/3 de palanca.
7. Válvula de alivio.
8. Cilindro de 15.4 mm de diámetro con base trasera para montaje.
9. Dos mangueras de 2.0 m de largo con una presión máxima de por lo menos 133.3 bar y un diámetro de 12 mm.
10. Cuatro conexiones rápidas
11. Ocho tuercas M20 x 2 de grado III.
12. Ocho tornillos hexagonales de M10 x 1 de grado III, con sus respectivas tuercas.

Nota: La presión máxima del sistema será de 2000 psi ó 133.33 bar.

A la hora de adquirir los componentes se debe considerar que en la mayoría de los casos la unidad de potencia incluye el tanque, el motor, la bomba y el filtro del sistema.

#### **5.4 Componentes no Estándares de la Máquina Compactadora.**

Los componentes no estándares de la máquina compactadora son: el molde, el soporte y la compuerta de expulsión. Estos componentes están formados por una serie de piezas que se enlistan a continuación.

1. Cuatro espárragos con rosca M20 x 2 x 30.
2. Soportes del cilindro.
3. Base.
4. Molde.
5. Compuerta de expulsión.

Estos componentes tendrán que ser fabricados en un taller mecánico ya que en Aluminio Fundido S.A. de C.V. no se cuenta con el equipo necesario para hacerlo. Todas las dimensiones y materiales especificados se presentan en los planos del anexo A al final de este documento y deben ser respetadas para un correcto funcionamiento de la máquina. Las uniones en todo el soporte serán uniones roscadas, lo cual garantiza que el trabajo hecho por la máquina no deteriorara éstas, además de que puede ser desarmada en cualquier momento.

## **5.5 Instructivo de la Máquina Compactadora.**

Para operar la máquina compactadora correctamente, sin dañarla, y manteniendo su vida útil lo más larga posible, será necesario seguir las recomendaciones presentadas a continuación para su ensamble, instalación, operación y mantenimiento.

### **5.5.1 Ensamble de la Máquina Compactadora.**

Ensamblar la máquina compactadora no deberá presentar muchos problemas. Los componentes hidráulicos deben ser ensamblados siguiendo los instructivos de los mismos. El ensamble del soporte requerirá de uniones roscadas y de soldadura para los soportes, por lo tanto, su ensamble será relativamente sencillo.

En el anexo A se encuentra el plano de ensamble de la máquina. La precisión de las distancias y diámetros de los barrenos es muy importante para no perder el centrado del cilindro con el molde, ya que esto puede ocasionar que la máquina no funcione correctamente.

La conexión entre el cilindro y la válvula direccional se hará con las mangueras hidráulicas y las conexiones rápidas. El cilindro y la válvula direccional deberán contar con los barrenos roscados necesarios para este tipo de conexión desde el momento de ser adquiridos. Este tipo de conexión se escogió debido a la sencillez con que se puede cambiar.

### **5.5.2 Instalación de la Máquina Compactadora.**

Para poder instalar la máquina compactadora el primer paso será el de contar con una buena instalación eléctrica, ya que el motor de la unidad de potencia es trifásico, por lo que si no se cuenta con este tipo de instalación, habrá que solicitar el servicio a la CFE (Comisión Federal de Electricidad) ya que por la potencia necesaria, no sería conveniente utilizar un motor de corriente directa. En Aluminio Fundido S.A. de C.V. se cuenta con el servicio y la instalación trifásica, por lo que únicamente se recomienda el uso de un arrancador para cuidado del motor.

Existen en el mercado arrancadores que ya tienen el interruptor de encendido y apagado integrado, además de un botón de emergencia. El cableado también deberá ser especial para instalaciones eléctricas. Una vez que se haga la instalación eléctrica entre el motor, el arrancador y la corriente, solamente debe cuidarse que el sentido en el cual gira el motor sea el indicado. Con la máquina ya instalada y funcionando el cilindro, se debe ajustar la válvula de alivio para que ésta abra cuando la presión alcance los 130 bar.

El soporte de la máquina puede ser montado sobre una mesa, en donde la unidad hidráulica pueda estar cerca de la misma para evitar que las mangueras que conectan el cilindro a la unidad de potencia tengan que cambiarse por unas más largas. Para su fijación en la mesa no se necesitarán mas que 4 tornillos de 10 mm de diámetro, con sus respectivas tuercas. Estos tornillos pueden ser de cualquier tipo, ya que los esfuerzos a los que estarán sometidos son mínimos y se usaran únicamente para fijar el soporte en su lugar.

La mesa donde será montado el soporte deberá tener un barreno de por lo menos 65 mm de diámetro para permitir que la briqueta pase a través de la mesa. Para recolectar las briquetas se recomienda colocar un contenedor de cualquier tipo por debajo de la mesa, justo abajo del barreno.

### **5.5.3 Operación de la Máquina Compactadora.**

Para una correcta operación de la máquina compactadora se recomienda seguir la siguiente lista de pasos:

1. Asegurarse de que la palanca de la válvula direccional se encuentre en la posición de neutral.
2. Prender el motor eléctrico utilizando el arrancador.
3. Colocar la compuerta de expulsión en la ranura correspondiente y empujarla hasta el fondo.
4. Con la ayuda de una cuchara de plástico, tomar la viruta ya lavada, y rellenar el molde hasta que quede al ras del molde.
5. Con la ayuda de una brocha, sacudir el exceso de viruta que pueda haber quedado en el molde.
6. Retirar la cuchara de la parte superior del molde y asegurarse de que no hay ningún objeto que se interponga entre el pistón y el molde.
7. Accionar la válvula direccional para que el pistón avance.
8. Cuando el indicador del manómetro indique 130 bar. de presión, accionar la palanca de la válvula para que el cilindro regrese un poco y después colocarla en la posición de neutral.

9. Retirar totalmente la compuerta de expulsión.
10. Accionar la válvula direccional para que el cilindro avance y empuje la briqueta fuera del molde, la cual caerá dentro del contenedor que está debajo de la mesa.
11. Accionar la válvula para que el cilindro regrese totalmente.
12. Colocar la compuerta de expulsión.
13. Repetir el ciclo.

#### **5.5.4 Mantenimiento de la Máquina Compactadora.**

El mantenimiento de la máquina en su mayoría será para el sistema hidráulico. Hacer una inspección del nivel de aceite y al estado del filtro tal y como lo indique el manual de los mismos. Para el mantenimiento de la unidad hidráulica y el cilindro se deberá consultar el manual del fabricante y seguirlo puntualmente, para garantizar el buen funcionamiento de todo el sistema. El soporte y la compuerta de expulsión no necesitan ningún tipo de lubricación, únicamente necesitarán una inspección por posibles deformaciones así como revisar el estado de la soldadura y de las uniones roscadas una vez al mes.

Los componentes del sistema hidráulico deben contar con su instructivo a la hora de comprarlos, por lo que se recomienda consultarlos para saber que otro tipo de mantenimiento requieren.