

CAPITULO V

DISEÑO DEL CONTENEDOR DEL BARRO Y DEL MECANISMO DE ABASTECIMIENTO

5.1 Introducción

Como lo menciona el título de este capítulo, se pensó hacer un análisis como un solo sistema a los elementos que tiene como función específica la de almacenar, abastecer y conducir el barro hasta el espacio donde un mecanismo aparte se va a encargar de realizar el moldeo del ladrillo, el lugar donde se necesita el abastecimiento del barro es en cada una de las celdas de la parrilla. En este capítulo se analizan y se seleccionan las piezas que mejor se adaptan al diseño de este proyecto de acuerdo a una metodología proporcionada por un fabricante especialista en extrusores y otros elementos mecánicos con la finalidad de tener un respaldo más confiable a la hora de seleccionar las características específicas del extrusor. Aunque en el tercer capítulo se hizo la mención de lo que se tenía en mente, es en este capítulo en el cual se aborda de manera específica y detallada la selección del extrusor así como de todos sus componentes necesarios para su correcto funcionamiento y de acuerdo a las necesidades de la máquina.

5.2 Mecanismo de abastecimiento del barro

Para iniciar, el primer paso que se debe considerar al seleccionar un extrusor es caracterizar el material, en la sección 3.2 se hace mención a estas características de las cuales según la metodología a seguir solo se requiere saber, el tipo de material a extruir, su densidad, el tamaño promedio de las partículas, el tipo de fluidez y su abrasividad, sin ser tan indispensable el hecho de contar con valores tan específicos de estas propiedades. [9]

Y solo como recordatorio las características del barro en las condiciones necesarias para este tipo de actividad son:

- Densidad : $1748 \text{ kg/m}^3 = 109.03 \text{ lbs/pie}^3$
- Tamaño: se considera por observación de campo de que el tamaño máximo de las partículas es de $\frac{1}{2}$ ".
- Fluidez: muy lenta
- Medianamente abrasivo

En el mercado existen varios tipos de extrusores como lo son: el extrusor sin cilindros alimentadores, extrusor con cilindros propulsores y los extrusores de hélices. Este último es el más aceptado en el mercado actualmente por su sencillo funcionamiento. Tanto el extrusor sin cilindros alimentadores y el de cilindros alimentadores, se están volviendo anticuados por no tener la capacidad de proveer un flujo continuo y por requerir que el barro sea de buena calidad, es por eso que se optó por utilizar un extrusor de hélices.

El extrusor de hélices, es el que más se adapta al diseño por diversas ventajas como es el hecho de que tenga un nivel de producción muy alto, la alimentación se hace de manera muy sencilla con la ayuda de una tolva, su mantenimiento es mínimo y sencillo; además de que termina de resolver los problemas de amasamiento que no hayan sido resueltos con el tractor. Aunque como desventajas tenga el hecho de que aumente relativamente la complejidad de la máquina y por ende aumento su costo, aun así se piensa que es la mejor opción.

5.2.1 Características del extrusor de hélices

Las hélices que se utilizan en los extrusores a su vez cuentan con características propias que permiten tener mayor o menor resistencia, mayor o menor capacidad de flujo, etc. Esto gracias a la forma de las hélices y a sus ángulos de inclinación, a las características del tornillo sinfín, principalmente el diámetro y el paso, que es la distancia entre hélice y hélice, y a las categorías del mismo si es corto, estándar, largo o escalonado. Para la selección de todos estos detalles, se toman los resultados de la referencia bibliográfica [10] en donde se analizan las ventajas y desventajas de cada una de estas características para llegar a concluir en que la mejor opción para trabajar con mezclas arcillosas es:

Un extrusor de hélice con tornillo sinfín (ver figura 36).



Figura 36. Tornillo sinfín

Tipo de hélice: de forma seccional, es decir que las hélices se forman con secciones soldadas entre sí (ver figura 37).

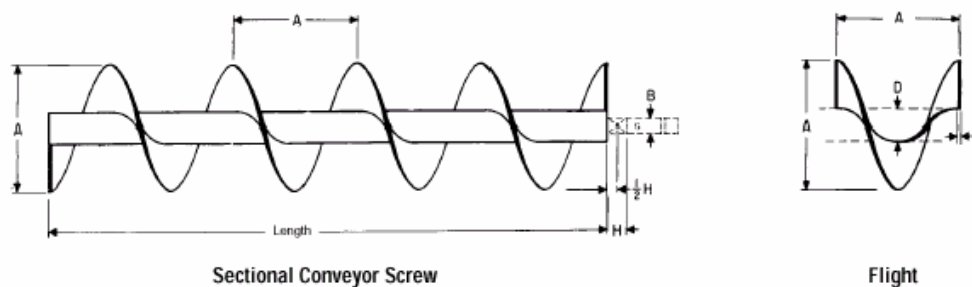


Figura 37. Extrusor seccional

y el tornillo sinfín de tipo estándar lo que significa que su paso es la misma distancia que el diámetro del tornillo sinfín (ver figura 38).

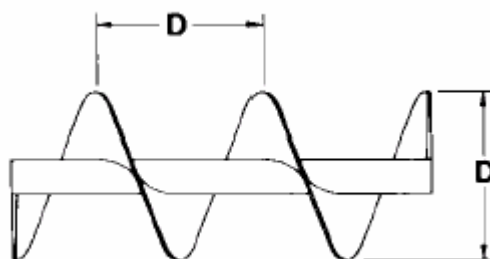


Figura 38. Paso estándar

5.2.2 Cálculo del flujo requerido

El volumen de un ladrillo esta dado por sus dimensiones:

$$V = \ell \times a \times h \quad (5.1)$$

Donde:

V: Volumen de un ladrillo, [m³]

ℓ : lado del ladrillo = 0.24 m

a : ancho del ladrillo = 0.13 m

h : alto del ladrillo = 0.055 m

$$V = 0.001716 \text{ m}^3$$

Por 10 ladrillos: $V_{\ell} = 10 \times V = 0.01716 \text{ m}^3$

Donde:

$$V_{\ell} : \text{Volumen de diez ladrillos, [m}^3\text{]}$$

Para poder cumplir con el objetivo que se tiene de producir los 500 ladrillos en una hora se necesita que la máquina cumpla con 50 ciclos en ese lapso de tiempo.

Lo que significaría que para cada ciclo se cuenta con un tiempo de:

$$t_c = \frac{60 \text{ minutos}}{50 \text{ ciclos}} = 1.2 \text{ min / ciclo}$$

Esto significa que se cuenta con 72 segundos en cada ciclo de operación, y como se explicó en el capítulo 3, las operaciones del ciclo se dividen en: elevación de la rejilla con la ayuda de la palanca [Plano MM-12-00], la cual se le da un tiempo de 5 a 10 segundos como máximo, y para la operación de aplanado se espera que no se lleve más de 20 segundos. Por lo tanto considerando que entre estas operaciones se lleven 30 segundos, quedarían 42 segundos específicamente para la operación de abastecimiento, y es el tiempo en el cual trabajará el extrusor. Para calcular el flujo necesario se tiene que:

$$\text{Flujo requerido} = \frac{\text{Volumen de diez ladrillos}}{\text{Tiempo para un ciclo}} \quad (5.2)$$

De tal forma y convirtiéndolo a volumen por hora, queda de la siguiente forma:

$$\text{Flujo requerido} = 1.4708 \text{ m}^3/\text{h} = 51.943 \text{ ft}^3/\text{h}$$

5.2.3 Extrusor

Debido a que no se tiene como propósito de esta tesis el diseñar un extrusor, se consideró seguir al pie de la letra las sugerencias de la metodología seleccionada propuesta por la referencia [9] con la finalidad de ahorrarse tantos cálculos detallistas que se requieren para el diseño de un extrusor (ver referencia [10]). En ella se van indicando los pasos a seguir para la selección de un extrusor, junto con la consulta de tablas sobre datos específicos de acuerdo a las características del material y la cantidad de material que se requiera trabajar. A continuación se enumera el proceso de selección paso a paso:

Paso 1. Definir los siguientes factores:

A: Tipo de material a ser extruido	Barro
B: Tamaño máximo de partículas duras	½ ”
C: Porcentaje de partículas duras de máximo tamaño por volumen	25 % máximo
D: Capacidad requerida, en cu.ft/hr	52 .00
E: Capacidad requerida, en lbs/hr	5720
F: Distancia del material a ser extruido	3 m. máximo
G: Cualquier factor adicional que pueda afectar las operaciones de extrusión.	Fluidez : Promedio Abrasividad : Moderada

Para la obtención de estos datos se utiliza como referencia la tabla 1 (apéndice B) para hacer una comparación de campo con el material que va a ser utilizado en la máquina. De igual manera se hizo una comparación de los resultados con el material ya clasificado de la tabla 2 (apéndice B) en donde por similitud de características se considera el barro que se pretende trabajar es igual al mencionado en la lista (Clay, Brick, Dry, Fines).

Paso 2. Clasificar el material de acuerdo a un código.

Por lo que se mencionó anteriormente el código correspondiente de acuerdo a la tabla 2 (apéndice B) es : C ½ - 36, en esta misma tabla se mencionan otras consideraciones según el material a trabajar como son:

a: Selección de rodamientos H

De acuerdo a la tabla 8 Apéndice A estos tipos de rodamientos son de hierro duro.

b: Serie de componentes 3 (ver tabla 9, del apéndice B)

c: Factor del material (F_m) = 2.0

d: Factor de carga 30 B (ver tabla 6, del apéndice B)

Paso 3. Determinar la capacidad del diseño.

En este paso lo que se pide es calcular una capacidad equivalente de flujo, tomando como base la capacidad que se requiere y que ya se calculó, pero considerando además unos factores que indican algunas características del extrusor que se pretende seleccionar.

$$\left(\begin{array}{l} \text{Capacidad Equiv.} \\ \text{Pies cúbicos por hora} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Capacidad Requerida} \\ \text{Pies cúbicos por hora} \end{array} \right) (CF_1)(CF_2)(CF_3) \quad (5.3)$$

En donde:

CF_1 : Factor de capacidad del paso del extrusor. Como ya se había seleccionado, el tipo de paso a utilizar es el estándar, por lo que de acuerdo a la tabla 3 (apéndice B) el valor correspondiente es de 1.00

CF_2 : Factor de capacidad de acuerdo al tipo de hélices. Como se indica en la tabla 4 (apéndice B) si se selecciona un tipo de hélices sin ninguna forma en especial (cut flight) como las que enumeran ahí se selecciona un valor de 1.00

CF_3 : Factor de capacidad en el caso de que se utilice un extrusor de paletas. Como no es el caso el valor de este factor es de 1.00 de acuerdo a la tabla 5 del apéndice B.

Por lo tanto:

Capacidad equivalente = 52.00 cu.ft/hr

Paso 4. Determinar el diámetro y la velocidad del extrusor.

En el paso 2 se indica que el factor de carga sugerido para este tipo de material es de 30 % B, la diferencia que existe entre los 30% A y los 30% B es que los primeros tienen la capacidad de trabajar a mayores rpm, y teniendo el dato de la capacidad de extrusión requerida (52.00 cu.ft/hr), con la ayuda de la tabla 6 del apéndice B se puede seleccionar el diámetro y calcular las rpm a las cuales debe trabajar, para que proporcione el flujo de

material que se requiere. Como puede verse en la tabla mencionada un diámetro de 6 in es suficiente para cumplir con la necesidad , ya que su rango de producción se encuentra entre los 1.49 cu.ft/hr a 1 rpm y los 90 cu.ft/hr a 60 rpm como máximo, pero por una apreciación personal se decidió optar por el de 9 in. La justificación es la siguiente, la forma en la que se ha pensado distribuir la cantidad de barro para cada celda de la rejilla es con la ayuda de una salida que está hecha a base de una serie de tubos colocados sobre una tapa con perforaciones colocada en la parte final del extrusor (ver plano MM-07-00) en este plano se indica de que diámetro quedan los agujeros (45 mm) utilizando un extrusor de 9 in, si se utilizara uno de 6 in serían considerablemente menor por lo que se piensa habría una mayor posibilidad de que alguna piedra sin necesidad de ser muy grande obstruyera algunos de los conductos. Otro detalle por el que se optó por esta selección es que para un diámetro menor las rpm a las que se trabaja es mayor y por la forma en la que se ha pensado en que llegue el barro a la celda de la rejilla se necesita que la velocidad a la cual salga el material de las guías sea muy lenta para que la colocación sea suave; de lo contrario se provocaría que el material saliera expulsado para todos lados menos donde se necesita, en la sección 5.4 se calcula la velocidad de salida del barro hacia la rejilla. Las rpm a las cuales debe trabajar el extrusor de 9 in de diámetro se calcula de la siguiente manera:

$$N = \frac{\text{Capacidad requerida [cu.ft/hr]}}{\text{Capacidad proporcionada [cu.ft/hr] a 1 rpm}} = 9.531 \text{ rpm} \approx 10 \text{ rpm} \quad (5.4)$$

Paso 5. Checar el diámetro mínimo del extrusor en base a la limitante del tamaño de las partículas duras. En el paso anterior se menciona esto y en la tabla 7 del apéndice B se comprueba que sería suficiente con un diámetro de 6 in pero por las razones antes comentadas se optó por uno de 9 in de diámetro.

Paso 6. Determinar el tipo de rodamientos.

De igual manera en el paso 2 se indica el tipo de rodamientos para lo cual en la tabla 8 (apéndice B) se menciona el tipo de material recomendado en donde los tipo H son de los tipos de: Hierro duro, Superficie endurecida, Stellite.

Paso 7. Selección de componentes

Nuevamente como se indica en el paso 2 el grupo de componentes recomendado es el grupo 3, en la tabla 9 apéndice B se indica para varios diámetros de extrusores los componentes recomendados, para el de 9 in. Pero puede observarse también que para un extrusor de 9 in se puede seleccionar entre un eje de conexión de 1 ½ y 2 in de diámetro. La selección se determina mediante la obtención del torque al cual va a ser sometida esta pieza, este valor se obtiene de la siguiente relación: [8]

$$\text{Torque (in.lbs)} = \frac{63\,025 \times \text{HP}}{\text{RPM}} \quad (5.5)$$

En donde:

$$\text{RPM} = 10$$

$$\text{HP} = \frac{3}{4} \text{ hp} = 0.75 \text{ hp}$$

Nota: Este último valor de los hp necesarios es un resultado anticipado del cual el proceso de obtener este valor se detalla en el capítulo 7.

Por lo tanto el valor del torque es:

Torque = 4726.88 in.lbs

Este torque se utiliza para seleccionar principalmente el diámetro del eje de conexión (MM-03-21). En la tabla 10 del apéndice B en la columna de torques permisibles para los ejes de conexión se puede ver que un eje de 2 in, es adecuado para el torque calculado ($4726.88 \text{ in.lbs} < 7600 \text{ in.lbs}$) y como simple observación se puede ver que el tubo del extrusor recomendado para este acoplador es de 2 ½ in de diámetro el cual puede trabajar hasta con un torque de 14 250 in.lbs.

Con este dato se retorna a la tabla 9 del apéndice B, para seleccionar un extrusor de 9 in de diámetro con un eje de conexión de 2 in de diámetro (MM-03-21) y encontrar en la columna de extrusores con tipo de hélice seccional un número de serie para este componente de 9S416, el cual se utiliza en los siguientes pasos de selección de componentes; en la tabla 11 se puede ver las características detalladas del extrusor seleccionado.

Prácticamente todas las piezas que se utilizan en el extrusor son estándares basándose claro está en el catálogo de piezas utilizado, pero a algunas de ellas será necesario hacerle algunas modificaciones (cortes principalmente) con tal que se adecuen al diseño o incluso se pueden mandar a fabricar directamente a partir de los planos de despiece pertenecientes al subensamble del extrusor (MM-03-00). Una vez que se ha seleccionado el tornillo extrusor (ver detalles en MM-03-23) fue necesario seleccionar los componentes para formar la “camisa” que le ayude a extruir el material. Como se vera en la siguiente sección, el tornillo extrusor se ubica en la parte baja de la tolva alojado entre dos secciones, la mitad de la longitud en una canaleta en U (ver plano MM-05-00) y la otra en

un tubo (ver plano MM-04-00). De acuerdo a la tabla 12 apéndice B, la longitud estándar de la canaleta es de 10' pero el tamaño al cual se debe manufacturar se muestra en el plano MM-03-06, para agregarle sus elementos de refuerzo la canaleta lleva soldados dos ángulos de 11/2" 11/2" x 1/4" (ver tabla 5 apéndice B y plano MM-03-07) además de dos collarines (MM-03-05) de igual manera son piezas que sufren modificaciones.

De igual manera el tubo de extrusión (ver tabla 13 del apéndice B) esta hecho de un tubo cédula 80 de 10" de diámetro interior y un grosor de pared de 1/4" (ver plano MM-03-02) y al igual que la canaleta cuenta con dos collarines en los extremos MM-03-01 y MM-03-03. La función del conducto tubular de extrusión es la de darle tiempo a la distancia de extrusión para uniformizar el flujo y llegar a alcanzar la máxima capacidad a la salida del extrusor; esto con la finalidad de que a la hora de que el barro llegue al tubo de preparación (MM-06-00) vaya ocupando el 100% de la sección transversal del tubo. De acuerdo a este último subensamble citado, el tubo de preparación también cuenta un collarín en cada uno de sus extremos MM-03-09 y el otro collarín es igual al MM-03-01. La función del tubo de preparación, es darle la última pausa para que el flujo de barro se uniformice y poder estar en condiciones de distribuirse lo más equitativamente posible entre cada una de las salidas de la boquilla de extrusión (ver sección 5.4). Tanto el tubo de preparación, como el tubo de extrusión y la canaleta van unidas entre si mediante la ayuda de tornillos, el tamaño de tornillos recomendado se muestra en la tabla 16 del apéndice B, en donde para un extrusor de diámetro de 9" y a utilizar en los collarines tanto en U como circulares son de 3/8", la distribución de los tornillos se recomienda en la tabla 14 del apéndice B para elementos en U y en la tabla 15 del mismo apéndice para los redondos.

Para soportar tanto la canaleta como el tubo de extrusión, la geometría de los soportes es recomendada por la tabla 17 del apéndice B (ver plano MM-09-00) en el cual dos de las paredes tienen la forma circular (MM-03-20) para un mejor acoplamiento entre los soportes y los elementos que soportan. Como puede verse en el plano MM-03-00 entre el tubo de extrusión y la canaleta se le agregó una tapa (ver MM-03-04) para hacer el cambio de sección sin dificultar el acoplamiento entre esos dos elementos. La tapa posterior de la canaleta (MM-03-08) es recomendada por la tabla 18 del apéndice para soportar el rodamiento (ver tabla 19 apéndice B) que a su vez sirve para soportar al eje de conexión (ver tabla 22 del apéndice B). En la tabla 23 del apéndice B se recomienda el tamaño del cuñero para los ejes de conexión.

El otro extremo del tornillo extrusor es soportado por un eje de conexión terminal (ver tabla 24 apéndice B y el plano MM-03-22), el cual es soportado por un rodamiento con una base especial ver tabla 25 del apéndice B. Se seleccionó este tipo de rodamiento para tratar de evitar que exista una obstrucción mayor al pasar el flujo de barro.

5.3 Diseño del contenedor para el extrusor (tolva).

Una vez que se tiene el gusano extrusor ya seleccionado, el siguiente paso fue el agregarle una tolva por donde se pudiera abastecer el barro, pero que a la vez sirviera de almacenamiento de reserva mientras un operador abastece manualmente la tolva. El tamaño de la tolva se considera en base al largo del extrusor (se seleccionó que la mitad del largo del extrusor fuera la longitud total de la tolva), a la altura considerable para que una persona pueda levantar una pala llena de barro (ver figura 20) y considerar el ángulo de reposo del barro (54°) para de esta forma darle la inclinación adecuada a las paredes

laterales de la tolva y pudiera la misma gravedad ayudar a que el barro se deslice para llegar al fondo de la tolva donde se encuentra el tornillo extrusor. La distribución de las medidas se muestran en la figura 39. En el plano MM-10-00, se muestra la geometría de la tolva junto con sus componentes. La longitud de la tolva se obtuvo de considerar dividir en dos secciones la longitud estándar del extrusor, la altura b (ver figura 39), se obtuvo de relacionarla con la limitación de la figura 20 que se planteó en el capítulo 3. Y último el ancho se seleccionó de considerar el ángulo de reposo del barro, el cual es de 54° ; teniendo como referencia este ángulo y ser llegar aumentarlo demasiado tanto como llegar a los 90° se optó por agregarle al ángulo de reposo 8° con la finalidad de tratar de asegurar que el barro resbalará por si solo dentro de la tolva hasta el fondo de la misma, de esta manera el ángulo de inclinación que tienen las paredes de la tolva es de 62° ver plano MM-10-00.

Basándose en estas medidas la capacidad de la tolva resultó ser la suficiente para alojar el barro equivalente a 40 ciclos de trabajo lo que significa que por lo menos se puede asegurar el abasto por 48 minutos tiempo que se considera adecuado para que el operador pueda ir abasteciendo el barro a la tolva sin muchas prisas.

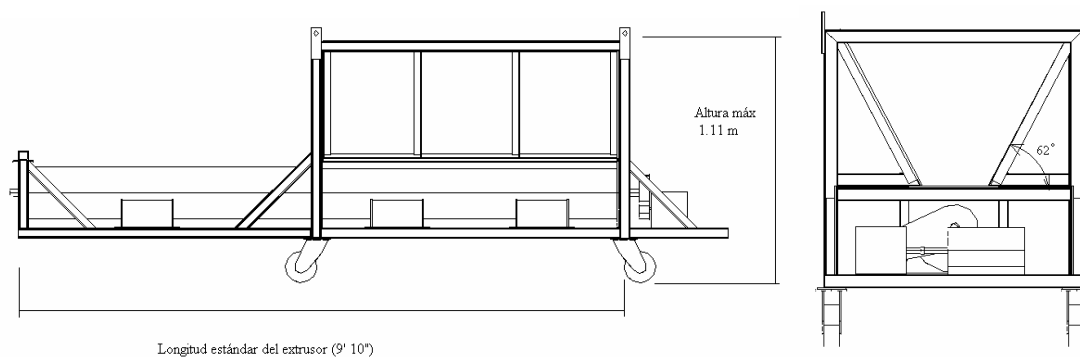


Figura 39. Medidas a considerar en el extrusor y la tolva.

Aunque es hasta este punto donde se justifica el tamaño del bastidor del extrusor, este bastidor ya ha sido sometido a un análisis de esfuerzos como se recordará en el capítulo 4. Los componentes de la tolva como por ejemplo las paredes, fueron diseñadas con una placa de acero de $\frac{1}{4}$ " de espesor (ver planos MM-10-01 y MM-10-02). El grosor de la placa se seleccionó por uniformizar los elementos hechos a base de placa del extrusor como son la canaleta. En las paredes laterales de la tolva se pensó en agregarle unos refuerzos a base de ángulo de $1\frac{1}{2}$ " \times $1\frac{1}{2}$ " \times $\frac{1}{4}$ " (ver tabla 4 apéndice A y los planos MM-10-03 y MM-10-04).

5.4 Diseño de las guías para abastecer el barro.

La función de las guías es conducir el barro desde la salida del tubo de preparación hasta las celdas de la parrilla de moldeo; para ello el sistema se compone de la boquilla de extrusión (MM-07-00), las guías (MM-03-17) y las llegadas de extrusión (MM-08-00). Como se puede ver el plano MM-07-00 la boquilla de extrusión cuenta con un "cono" hecho a base de placas de acero de forma triangular MM-03-12 unidas entre si, con esta geometría se piensa ayudar a hacer la distribución más uniforme en cada una de los tubos de salida (ver tabla 7 apéndice A y MM-03-13) además de disminuir la presión que ejercería el flujo de barro sobre la tapa distribuidora (MM-03-11) ver figura 40. Una vez que el barro salga de la boquilla del extrusión gracias al empuje del tornillo extrusor, el barro se va a transportar por medio de las guías de extrusión (MM-03-17) hasta llegar a las llegadas de extrusión (MM-08-00). Las llegadas están compuestas de una placa de acero de $\frac{1}{4}$ " (MM-03-16) cada una; en la cual están pegados una serie de tubos de llegada (ver tabla 7 y MM-03-14) y tienen un travesaño para ser sostenidos a base de ángulo de 1 " \times 1 " \times $\frac{1}{8}$ " (ver tabla 5 apéndice A).

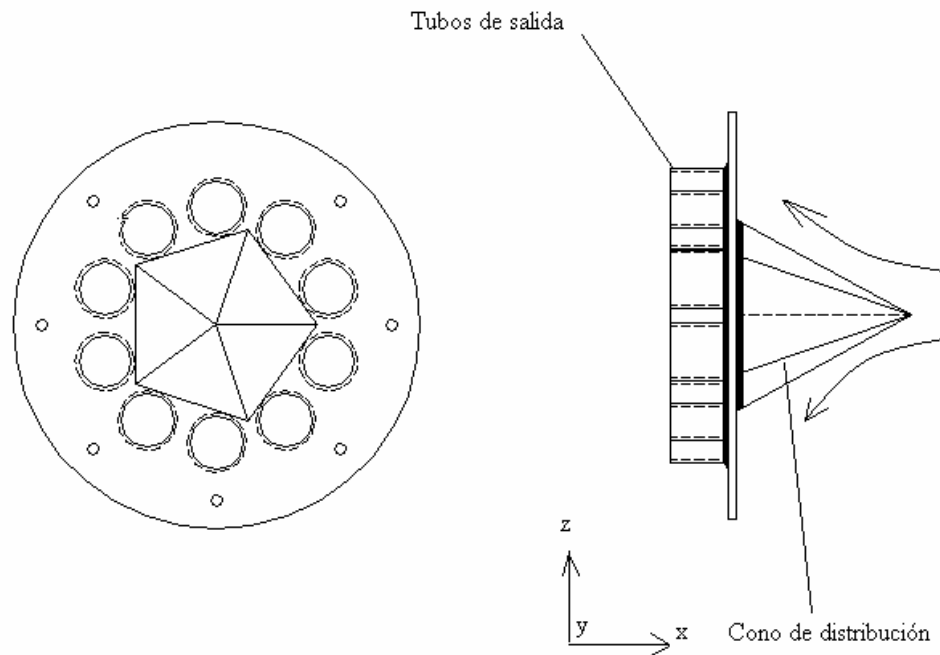


Figura 40. Distribución de las guías a la salida del extrusor.

Cada una de las tubos se deben encontrar bien alineados con respecto al plano yz (ver figura 40). Como se mencionó antes con esto se pretende asegurar que a cada guía le va a tocar la misma cantidad de flujo de barro y que en los tubos de llegada salga a la misma velocidad en todas sus salidas.

La velocidad a la cual va a salir el barro de cada uno de los tubos de salida se calcula de la siguiente forma:

$$Q \text{ (Flujo en cada tubo)} = \frac{52.00 \text{ cu.ft/h}}{10 \text{ tubos}} = 5.2 \text{ cu.ft/h} = 0.1472 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = \frac{Q}{A} = 31.00 \text{ m/h} \quad (5.6)$$

Donde:

V : velocidad de salida en cada tubo de llegada, [m/h]

Q : flujo en cada tubo de llegada, [m³/h]

A : área de la sección transversal de un tubo de llegada = $\pi \times r^2 = 0.00475 \text{ m}^2$

La velocidad que se obtuvo como resultado, se considera una velocidad de salida del barro baja, por lo que se considera no habrá mayor problema a la hora de irse depositando el barro dentro de cada una de las celdas de la parrilla (ver figura 41).

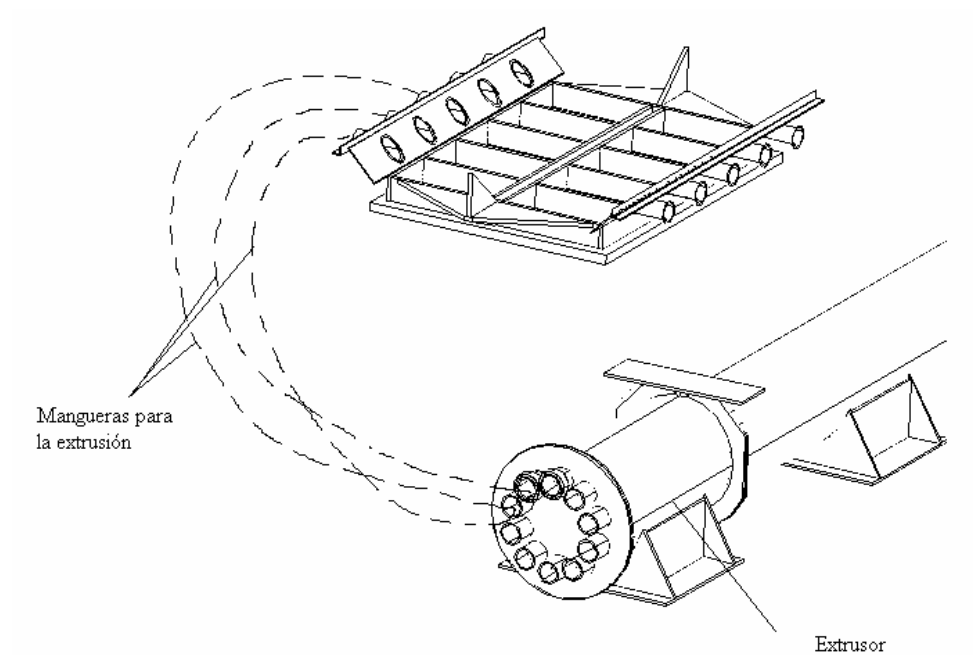


Figura 41. Llegada de extrusión.