

***Desarrollo mecatrónico del proceso de extrusión de piezas
de arcilla de uso en la construcción***

Mechatronic development of the extrusion process of clay pieces for use in construction

Carol Stefanie Casquete Baidal
<https://orcid.org/0000-0001-5980-8512>
krolksqt@gmail.com
Investigadora Independiente

Resumen

La arcilla ha sido uno de los elementos que han acompañado al hombre desde la edad de piedra. A medida del tiempo, el individuo fue adquiriendo conocimientos por lo que fue desarrollando nuevas tecnologías y nuevos materiales, pero los materiales de arcilla seguían formando parte importante dentro de la vida del hombre hasta hoy en la actualidad. La arcilla es materia prima de muchos productos como son los cerámicos y, cementos y ladrillos refractarios. Su ventaja es que adquieren plasticidad al combinarse con agua, por lo que se pueden fabricar innumerables productos, luego se aplica cocción con el fin de aumentar su resistencia mecánica. Esta fortaleza le permite ser trabajada bajo la conformación hidrolástica la cual utiliza el proceso de extrusión para producir piezas en mayores cantidades. Por lo cual, el objetivo general de esta investigación se basa en analizar el desarrollo mecatrónico del proceso de extrusión de piezas de arcilla de uso en la construcción. La metodología empleada se basó en investigaciones de tipo documental y bibliográfica. Los resultados se basaron en las características de la extrusora, desarrollo mecatrónico de la extrusora y los modelos mecánicos y electrónicos que permiten la creación de la máquina. Como conclusión la extrusora de piezas de arcilla se manipula con un operador que selecciona el tipo de material en específico; al momento del encendido del motor se introduce barro al tornillo extrusor a través de la tolva y por la boca moldeadora sale extruido un bloque de barro que de acuerdo a lo seleccionado unas cuchillas se activan para dar el corte a las dimensiones requeridas, teniendo así una nueva vía de realizar extrusión de una manera más completa, práctica, eficaz, e innovadora para una mejor manera de llevar a cabo las labores de producción.

Palabras Clave: arcilla, hidrolástica, extrusora, mecatrónica

Abstract

Clay has been one of the elements that have accompanied man since the stone age. As time went by, the individual acquired knowledge and developed new technologies and new materials, but clay materials continued to be an important part within of man's life until today. Clay is the raw material of many products such as ceramics and refractory cements and bricks. Its advantage is that they acquire plasticity when combined with water, so that countless products can be manufactured, then cooking is applied in order to increase their mechanical resistance. This strength allows it to be worked under the hydroplastic conformation which uses the extrusion process to produce parts in larger quantities. Therefore, the general objective of this research is based on analyzing the mechatronic development of the extrusion process of clay pieces for use in construction. The methodology used was based on documentary and bibliographic research. The results were based on the characteristics of the extruder, the mechatronic development of the extruder and the mechanical and electronic models that allow the creation of the machine. In conclusion, the clay pieces extruder is manipulated with an operator that selects the specific type of material; At the moment the motor is started, mud is introduced to the extruder screw through the hopper and a mud block is extruded through the molding mouth, which according to the selected blades are activated to cut the required dimensions, thus having a new way to perform extrusion in a more complete, practical, effective and innovative way for a better way of carrying out production tasks.

Keywords: clay, hydroplastic, extruder, mechatronics

Introducción

El hombre desde su aparición en la historia a buscado las formas de poder garantizar sus necesidades más básicas. Los materiales cerámicos han sido uno de los elementos que han acompañado al hombre desde la edad de piedra. Fueron los primeros utensilios creados con el fin de poder guardar, recolectar o cocinar los alimentos que eran ingeridos. A medida del tiempo sus conocimientos fueron creciendo y a su vez se iban desarrollando nuevas

tecnologías y nuevos materiales, pero los materiales cerámicos seguían formando parte importante dentro de la vida del hombre hasta hoy en la actualidad.

Estos materiales cerámicos tienen unas características que predominan entre los demás materiales, como el metal o el polímero. El término “cerámica” proviene de la palabra griega “keramikos”, que significa “cosa quemada”, indicando de esta manera que las propiedades deseables de estos materiales generalmente se alcanzan después de un tratamiento térmico a alta temperatura que se denomina cocción (Ciencia_de_Materiales, 2004).

Dentro de estos materiales cerámicos hay una infinidad de productos para diversos trabajos específicos o áreas de trabajos. Uno de ellos son los refractarios. Éstos son materiales cerámicos que están diseñados para permanecer en una gran variedad de condiciones severas de servicio incluyendo altas temperaturas, líquidos y gases corrosivos, abrasión, esfuerzos mecánicos y térmicos inducidos (DÁVILA DEL TORO, 2009). En las Tablas 1 y 2 se desarrolla la clasificación de los materiales refractarios en base a sus óxidos presentes y a su comportamiento químico.

Tabla 1.

Clasificación de los materiales refractarios en función de los óxidos presentes.

Arcilla Refractaria	Ladrillo Alta Alúmina	Ladrillo Sílice	Ladrillo Básico	Carbón y Grafito	Al₂O₃-Grafito/Carbón	MgO-Grafito/Carbón	Carburo de Sílice	Zircón y Zirconio
(Al ₂ O ₃ , SiO ₂)	(Al ₂ O ₃ , SiO ₂)	(SiO ₂)	(CaO, MgO, Cr ₂ O ₃)	C	(Al ₂ O ₃ , C)	(MgO, C)	SiC	ZrO ₂ , ZrSiO ₄

Fuente: (García, 2013)

Dentro de estos materiales se encuentra la arcilla como uno de los productos que provienen de los refractarios. Es un producto de la transformación físico-químico de los feldespatos, y esta constituido por SiO₂, Al₂O₃ y H₂O de cristalización en diferentes proporciones, donde en ocasiones el Si₂O es reemplazado por el TiO₂ y la Al₂O₃ por el Fe₂O₃ (Capítulo I: Análisis del proceso de cocción de la cerámica, 2010).

Tabla 2.

Clasificación de los materiales refractarios en función del comportamiento químico.

Ácidos	Básicos	Neutros	Especiales
Incluyen los ácidos, alúmina y refractarios de arcilla. La sílice pura se usa para usar el metal fundido. Los refractarios de arcilla por lo general son relativamente débiles, pero poco costosos. Por arriba del 50% en su composición de Al_2O_3 se consideran de alta alúmina.	Se basa en MgO (magnesia ó persiclase). El MgO puro tiene un punto de fusión alto, buena refractariedad, buena resistencia al ataque por los entornos que a menudo se encuentran en los procesos de fabricación de acero. Son más costosos que los refractarios ácidos.	Normalmente incluyen la cromita, pueden ser utilizados para separar refractarios ácidos de los básicos, impidiendo que uno ataque el otro.	Estos materiales incluyen la zirconia (ZrO_2), el circon ($ZrSiO_4$) y una diversidad de nitruros, carburos y boruros, así como el carbono en varias aplicaciones refractarias, particularmente cuando no hay oxígeno fácilmente disponible.

Fuente: (García, 2013)

La arcilla pura es el caolín, que aparece en cristalitas en forma de escamas. Las demás arcillas contienen impurezas, a las cuales deben su color. Tienen el mismo origen que el caolín y se presentan en masas amorfas. La arcilla tiene muchas aplicaciones industriales, debido a su plasticidad y a que endurece a temperaturas elevadas. Se emplea para la fabricación de cemento, ladrillos, tejas, etc., así como en cerámica y alfarería. Algunas variedades se emplean en la fabricación de productos refractarios. La arcilla es uno de los principales componentes del suelo. La cantidad de arcilla modifica profundamente sus propiedades físicas así como su estructura. (VISOR, 1999, pág. s/n)

En las aplicaciones se encuentra la construcción en la cual destacan en la fabricación de muchos elementos como ladrillos y lengüetas. Éstos son un tipo de revestimiento rustico que puede presentar colores y dimensiones varias según su fabricante (Arroyo, 2016). Este tipo de producto no soportan mucho esfuerzo por su baja resistencia. Esta desventaja es producto de su proceso de fractura frágil debido a pequeños defectos que están en el material, los cuales actúan como concentradores de tensión consecuencia de poros internos o impurezas (Callister, 2005).

Estos tipos de materiales son muy utilizados por sus diversas aplicaciones y sus ventajas al momento de fabricarlos. Cuando el agua y la arcilla se mezclan se forma una masa plástica a la cual puede dársele la forma deseada; luego es secada para eliminar parte de la humedad y finalmente cocida a elevadas temperaturas para aumentar la resistencia mecánica (Callister, 2005).

En las pequeñas y medianas empresas (PyME), el proceso de fabricación de estas lengüetas y ladrillos tienden a ser manuales, por lo que el tiempo de producción es muy grande y la productividad de la organización es muy deficiente. Por ejemplo, para la producción de 30000 piezas de lengüetas, el moldeado y el secado de las piezas se lleva 15 días y 3 días en el proceso de cocción, resultando 18 días para poder fabricar esa cantidad (Arroyo, 2016). Tiempo muy largo para el factor de productividad. Esto ocasiona la pérdida de posibles clientes, a su vez que no hay aporte de nuevos productos porque el tiempo es dedicado a los productos que son comercialmente activos.

Para solucionar este inconveniente se requiere de la compra de equipos que puedan incrementar los tiempos de producción, pero para las PyME es muy difícil acceder a un capital de inversión. Para ello se recurre a la propia tecnología y se plantea la creación de una máquina extrusora de piezas de arcilla, en la cual se puedan producir lengüetas y ladrillos en un tiempo más corto con la ayuda del diseño mecánico y la automatización del mismo.

Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación se basa en analizar el desarrollo mecatrónico del proceso de extrusión de piezas de arcilla de uso en la construcción. La metodología empleada se basó en investigaciones de tipo documental y bibliográfica.

Método

Para el desarrollo documental y bibliográfico se procedió a realizar una descripción de objetivos como analizar las características de la arcilla, conocer los diversos productos de arcilla, determinar las características del proceso de extrusión de materiales con alta viscosidad y desarrollar el proceso mecatrónica para la extrusora de piezas de arcilla. Esto se pudo lograr gracias al uso de herramientas como textos, documentos y artículos científicos publicados disponibles en la web.

Resultados

Proceso de extrusión.

Uno de los procesos de conformado que se utiliza a nivel industrial es el de extrusión. Este proceso se realiza a materiales metálicos, como a polímeros. También es utilizado para materiales cerámicos por lo que su desarrollo implica trasladar un material de alta viscosidad hasta la matriz o dado que tendrá la forma del producto que se obtiene.

La estructura general de las extrusoras cuenta con un sistema de entrada, un sistema de traslado y un sistema de salida. Es decir, la extrusora debe disponer de un sistema de alimentación del material a través de una tolva, el sistema del cuerpo donde está localizado un tornillo extrusor que transporta y mezcla el material y el dispositivo para dar lugar al conformado del material (Beltrán & Marcilla, 2009). En la Figura 1 se puede observar una extrusora.

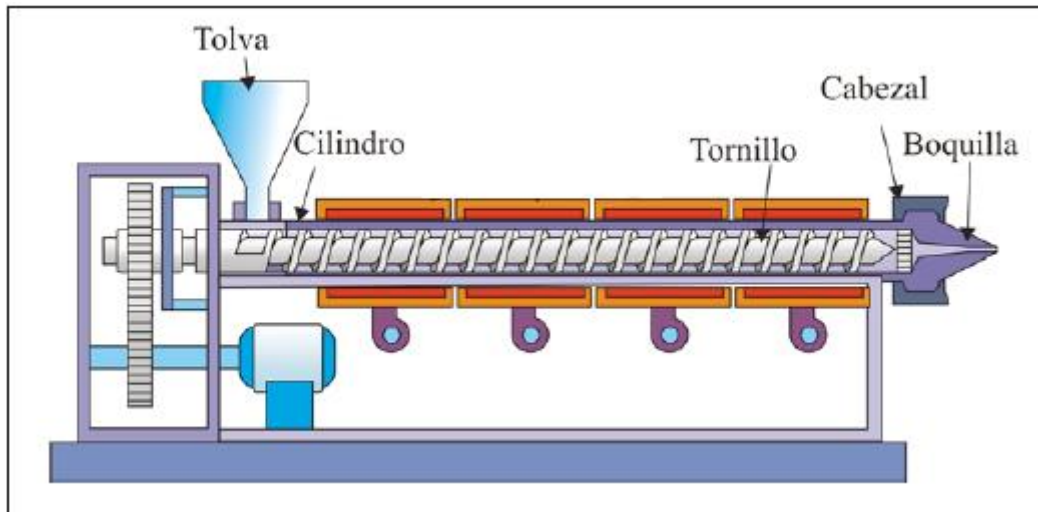


Figura 1. Esquema de la extrusora con de husillo sencillo. Fuente: (Beltrán & Marcilla, 2009)

Para el proceso de extrusión de la arcilla se tiene:

Ladrillos, tuberías, bloques cerámicos y azulejos se fabrican utilizando la conformación hidrolástica. Normalmente la masa de arcilla es forzada a través de la matriz por medio de un husillo simple en forma de espiral accionado por un motor, ya menudo el aire es eliminado en una cámara de vacío para aumentar la densidad. Las piezas extruidas que tienen columnas internas huecas (por ejemplo, ladrillos de

construcción) son conformadas mediante insertos situados en la matriz. (Callister, 2005, pág. 441)

De la misma manera, se puede especificar aún más el funcionamiento de la extrusora en relación con las tres zonas que la conforman, la zona de alimentación, zona de transición y la zona de dosificación. Esta se puede detallar en la Figura 2 y se determinar sus características por medio de la Tabla 3.

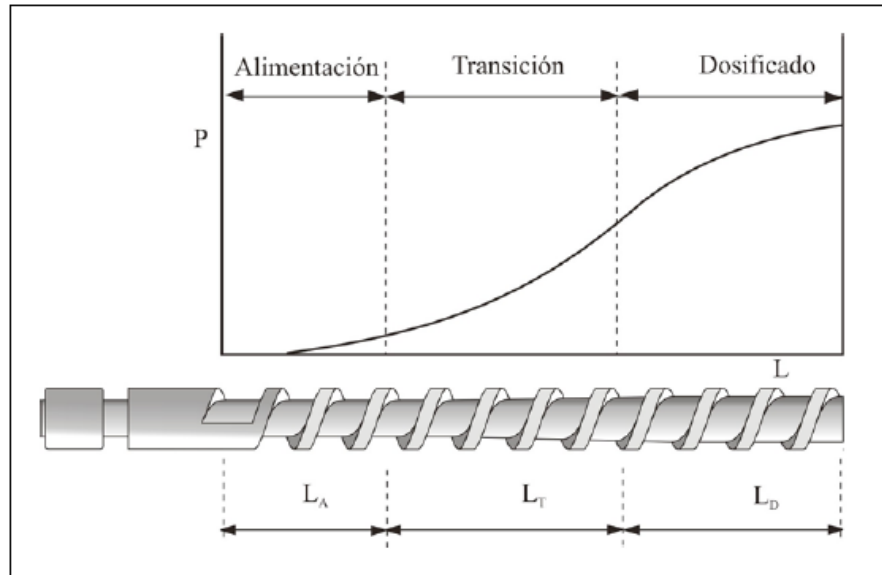


Figura 2. Zonas de la extrusora y evolución de la presión a lo largo de las mismas. Fuente: (Beltrán & Marcilla, 2009)

Tabla 3.

Zonas de la extrusora.

ZONAS	CARACTERÍSTICAS
Alimentación	Es la más cercana a la tolva, en la cual la profundidad del canal del tornillo es máxima. Tiene como objetivo principal compactar el material en una forma sólida densa y transportarlo hacia la siguiente zona a una velocidad adecuada.
Transición	Es la zona de compresión en la cual la profundidad del canal disminuye más o menos de forma gradual. Conforme el material se va compactando el aire que pudiera quedar atrapado escapa del material vía la tolva de alimentación.
Dosificación	Esta zona se ubica al final en la parte más cercana a la boquilla y tiene una profundidad de canal muy pequeña y constante. El material es homogenizado para forzarla a atravesar a presión la boquilla de conformado.

Fuente: (Beltrán & Marcilla, 2009)

Módulos mecatrónicos para la extrusora de piezas de arcilla.

Las piezas a fabricar este tipo de extrusora son las que se muestran en la Figura 3. Los módulos establecidos para el desarrollo de la extrusora de piezas de arcilla se reflejan a través de la Figura 4, en la cual se debe añadir el módulo de estructura que soporta el equipo y el módulo de alimentación que suministra las corrientes y voltajes necesarios para toda la parte eléctrica y electrónica. De aquí, se puede desglosar en dos áreas de trabajo que corresponden al módulo mecánico y al módulo electrónico.

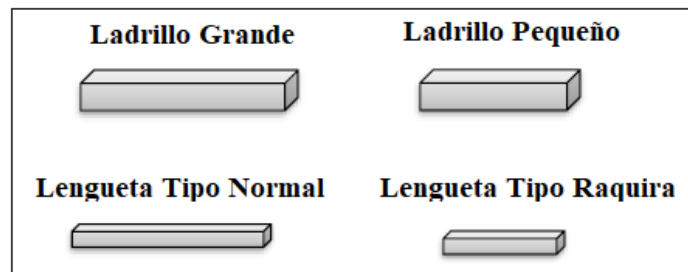


Figura 3. Tipos de productos que va a realizar la extrusora de piezas de arcilla para uso en la construcción. Fuente: (Arroyo, 2016)

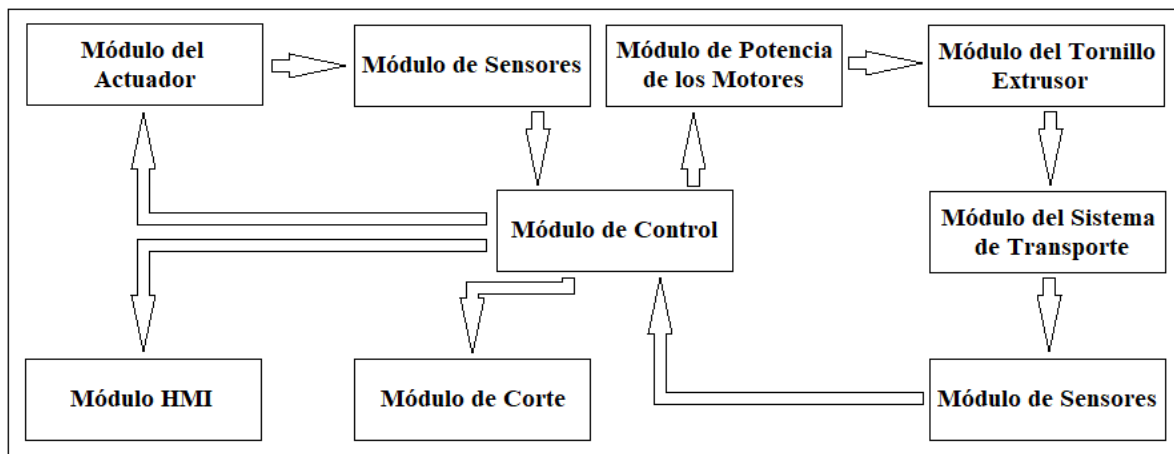


Figura 4. Diagrama del desarrollo mecatrónico de la extrusora de piezas de arcilla para uso en la construcción. Fuente: (Arroyo, 2016)

Módulo mecánico general

Este módulo corresponde al diseño de la extrusora de piezas de arcilla la cual esta configurada bajo los módulos que se visualizan en la Figura 5. Aunado a estos se encuentra el módulo de la estructura metálica. De la misma forma, se detallarán a continuación los tres módulos de mayor envergadura de este módulo mecánico los cuales son el módulo de transmisión de potencia, el módulo de tornillo extrusor y el módulo del tubo mecánico.

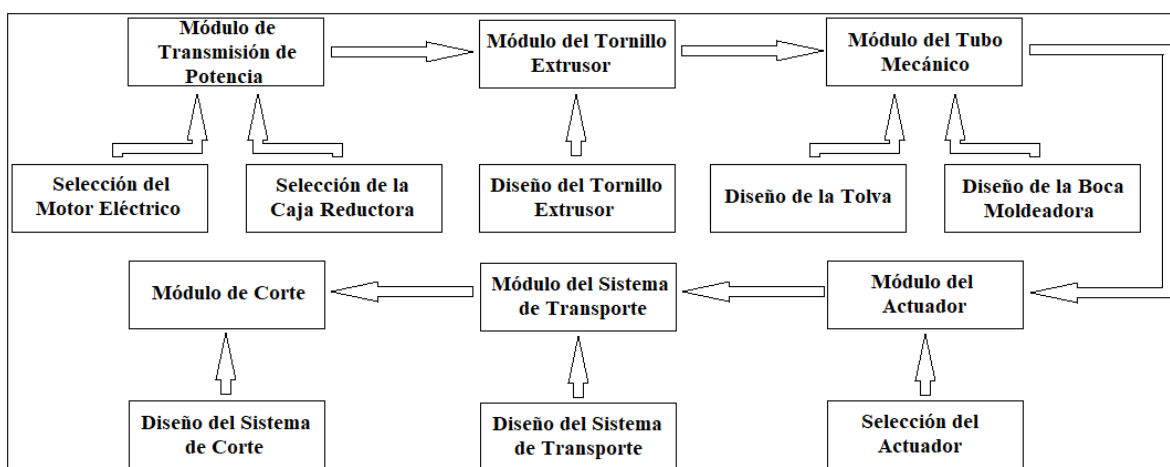


Figura 5. Módulo mecánico general de la extrusora de piezas de arcilla. Fuente: (Arroyo, 2016)

Módulo de transmisión de potencia

Se consideró la selección del motor eléctrico y la selección de la caja reductora. También se tomó en cuenta los rodamientos que serán el soporte del tornillo para evitar flexión y demás elementos necesarios para dar movimiento al sistema, donde los cálculos se basaron en la carga del tornillo y de la mezcla de arcilla que se procesa. Para la caja reductora se tomó en consideración los cálculos del flujo requerido y el flujo masico requerido tomando en consideración el tipo de material que es arcilla más el volumen de productos a fabricar, dando como resultado una caja de 30rpm con una relación 40:1 (Arroyo, 2016).

Para la selección del motor se tomo en consideración el cálculo de la velocidad periférica del tornillo extrusor, cálculo de la potencia del motor que desplaza la masa de arcilla, cálculo de potencia para mover el barro, cálculo de la potencia total de la máquina extrusora y cálculo

del torque. El movimiento del tornillo extrusor estará dado por un motor eléctrico monofásico 3HP y 1735rpm (Arroyo, 2016).

Módulo del tornillo extrusor

Una de las características a tomar en cuenta para el desarrollo de estos cálculos es necesario conocer las propiedades del material que se va a extruir, que es la arcilla. Para hacer este estudio se hace uso de la masa y el volumen que tendrá el ladrillo grande recién moldeado, es decir, con toda la humedad posible (Arroyo, 2016). Este producto se toma porque es el de mayor volumen a extruir y por lo cual se requiere mayor fuerza de desplazamiento dentro de la zona del tubo mecánico.

Los cálculos se basan en la longitud de trabajo del tornillo extrusor, diámetro de la barra del tornillo extrusor, profundidad de las hélices del tornillo extrusor, paso del tornillo extrusor, ancho de las hélices del tornillo extrusor, número de las hélices del tornillo extrusor, cálculo de la masa de arcilla a transportar, cálculo de la masa del tornillo, cálculo de las fuerzas y reacciones presentes en el tornillo extrusor, diagrama de cuerpo libre y momento flector del tornillo extrusor, cálculo del esfuerzo flector máximo, cálculos de los esfuerzos cortantes máximos, cálculo de esfuerzos combinados y cálculo del factor de seguridad. En la Figura 6 se detalla las dimensiones del tornillo extrusor.

Módulo del tubo mecánico

Este tubo es el que comprende a la camisa que protege al tornillo extrusor, así como ejercerá la presión en la arcilla contra dicho tornillo. Este módulo consiste en la selección del tubo mecánico a emplear, de las bridas que componen el sistema, así como también del diseño de la tola y de la boca moldeadora (Arroyo, 2016). En la Figura 7 se puede observar las dimensiones del tubo mecánico.

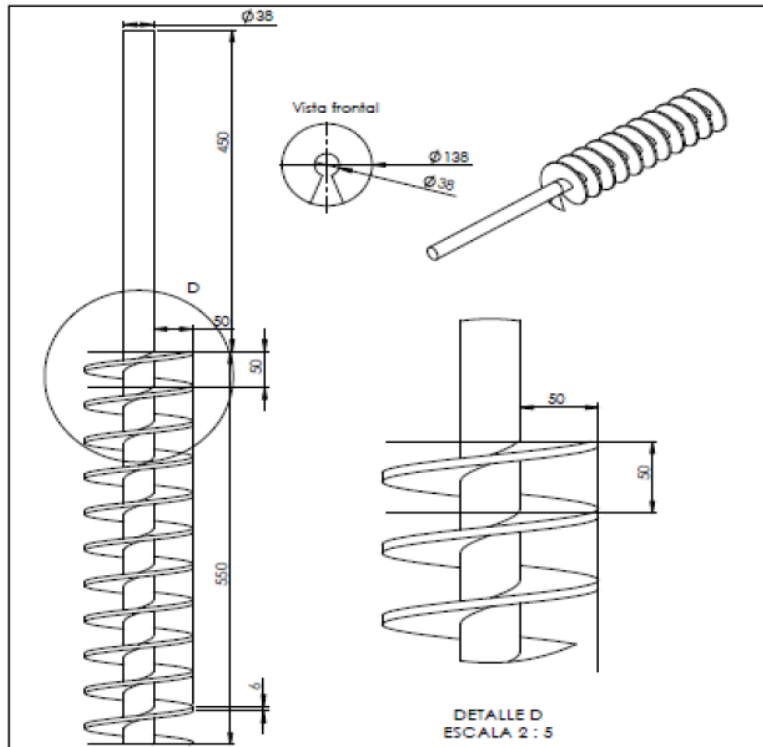


Figura 6. Dimensiones del tornillo extrusor, con las medidas de mm. Fuente: (Arroyo, 2016)

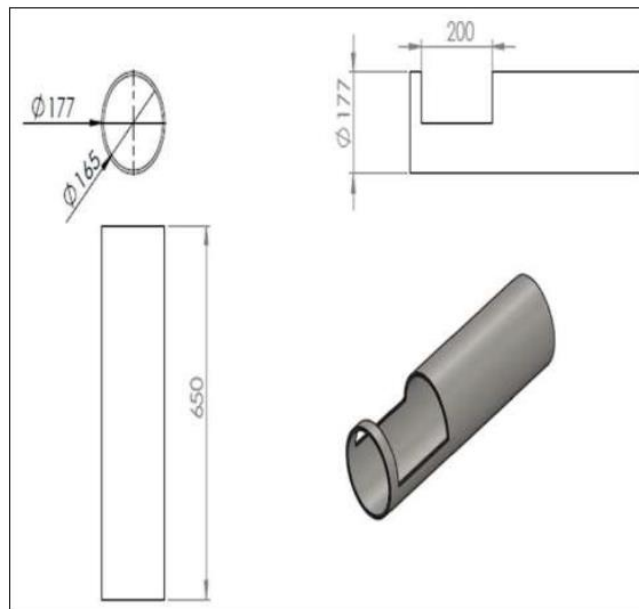


Figura 7. Dimensiones del tubo mecánico, con las medidas en mm. Fuente: (Arroyo, 2016)

El diseño de este tubo se determinó a través de los cálculos de la razón de corte, cálculos de la viscosidad del barro, cálculo del esfuerzo cortante normal y cálculo de la presión en el sistema de extrusión. Para el diseño de la tolva se consideró el cálculo del volumen de la tolva según la cantidad de arcilla a almacenar, cálculo de las dimensiones de la tolva, selección del material de la tolva, cálculo del espesor de la tolva, cálculo del peso del barro almacenado en la tolva y el cálculo del peso de la tolva. En la Figura 8 se detalla las dimensiones de la tolva.

Para el diseño de la boca moldeadora se tomó la selección del material de la boca, cálculo de la longitud de las paredes de la boca, cálculo del espesor de la boca y el cálculo del peso de la boca. En la Figura 9 se muestra las dimensiones de la boca moldeadora.

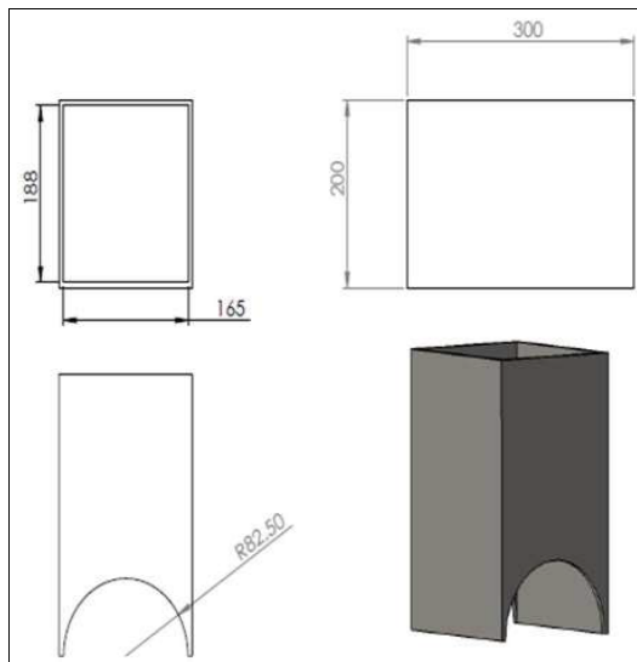


Figura 8. Dimensiones de la tolva, con las medidas en mm. Fuente: (Arroyo, 2016)

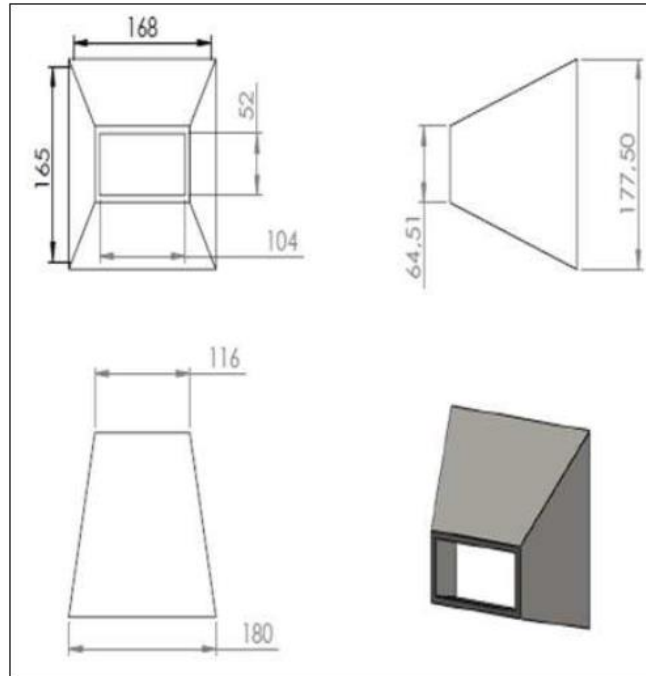


Figura 9. Dimensiones de la boca moldeadora, con las medidas en mm. Fuente: (Arroyo, 2016)

Módulo electrónico general

Después de diseñar y fabricar la extrusora de piezas de arcilla para uso de la construcción y procede darle vida electrónica a través de la automatización, acoplando diversos sistemas eléctricos y electrónicos en el sistema. En la Figura 10 se puede detallar el diagrama del módulo electrónico necesario para el funcionamiento de la extrusora. No se debe descartar el módulo de alimentación.

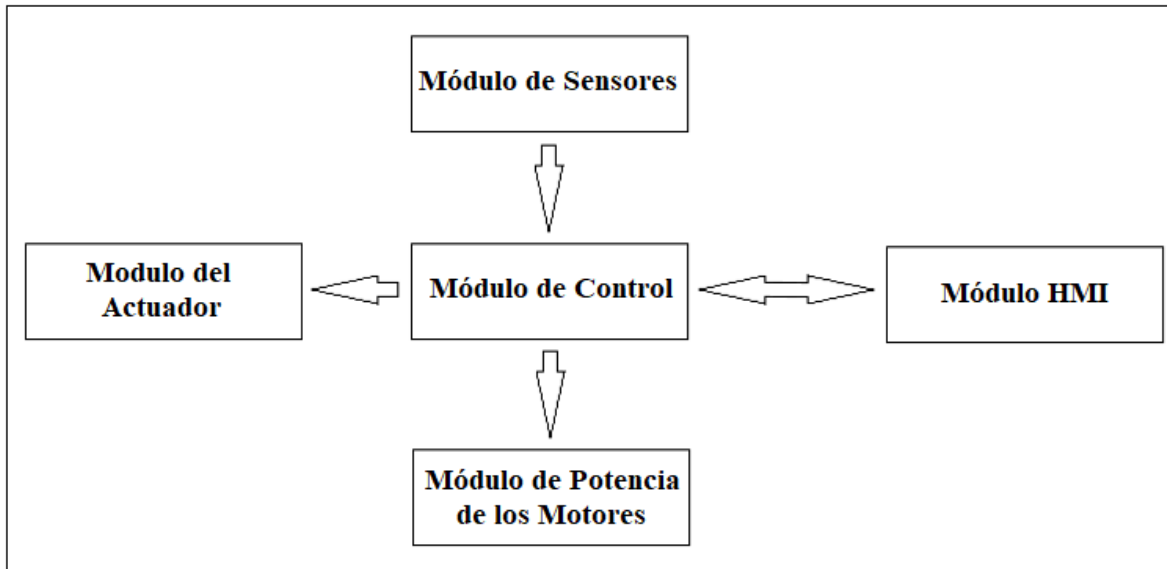


Figura 10. Diagrama de funcionamiento de la parte electrónica de la extrusora de piezas de arcilla para uso en la construcción. Fuente: (Arroyo, 2016)

Módulo de alimentación

Para el desarrollo de este módulo se tomó en cuenta todos los componentes eléctricos y electrónicos necesarios para el funcionamiento de la extrusora.

La fuente principal del sistema es generada por un transformador toma central de 24V, que estará conectado a una toma 110-120V, y por medio del cual se convertirá el voltaje de entrada de 110-120V a 24V, luego mediante un puente rectificador convertirá y estabilizará la señal alterna(CA) de entrada a una señal continua(CC), para eliminar el voltaje de rizado y tener una señal más óptima se le agregan dos condensadores, uno monolítico para bajas frecuencias y otro cerámico para altas frecuencias. Seguidamente, se obtendrán tensiones de 5V y 12V que son conseguidas por los reguladores LM317T, LM2576T-5,0 y LM2576T-ADJ, todo esto, para la alimentación del módulo de control, sensores, actuador y demás circuitos integrados. (Arroyo, 2016, pág. 219)

En la Figura 11 se representa los circuitos de la alimentación de la fuente principal y de regulador LM317T de 5V. Este último se requiere que el regulador drene una corriente 1200mA, para atender la demanda generada por la carga, la cual se comprende en el microcontrolador, la LCD 16x2 y otros circuitos integrados que conforman parte del circuito electrónico (Arroyo, 2016).

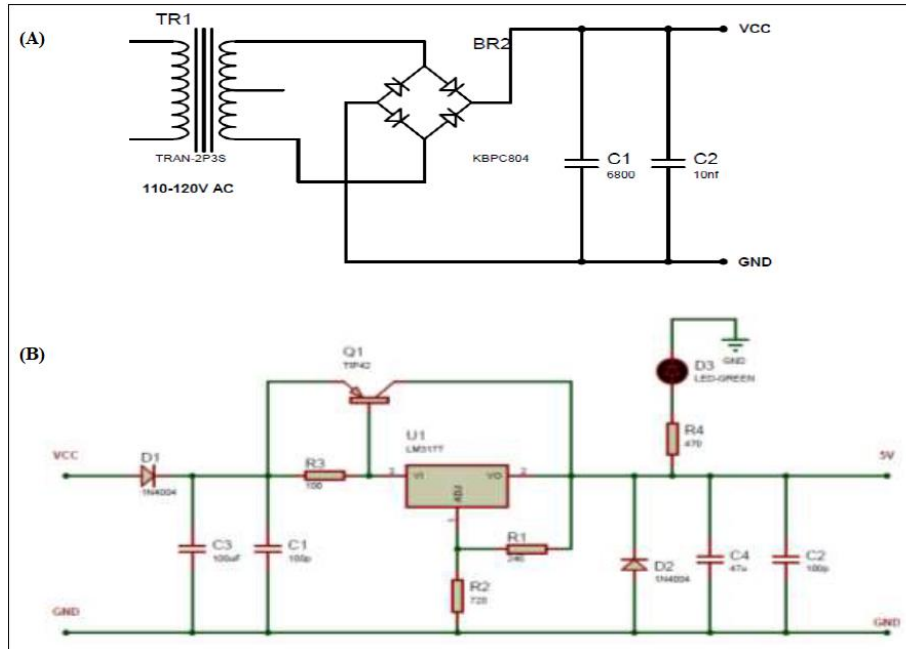


Figura 11. Circuitos de la alimentación de: (A) la fuente principal y (B) de regulador LM317T de 5V. Fuente: (Arroyo, 2016)

Módulo de sensor

El sensor utilizado es un sensor de distancia el cual se encarga de darle las longitudes específicas según lo señalado por el operador a través de la interfaz HMI. El sistema de control recibe su señal y acciona el actuador que permite el corte de la pieza de arcilla a la dimensión establecida. En la Figura 12 se muestra el circuito del sensor.

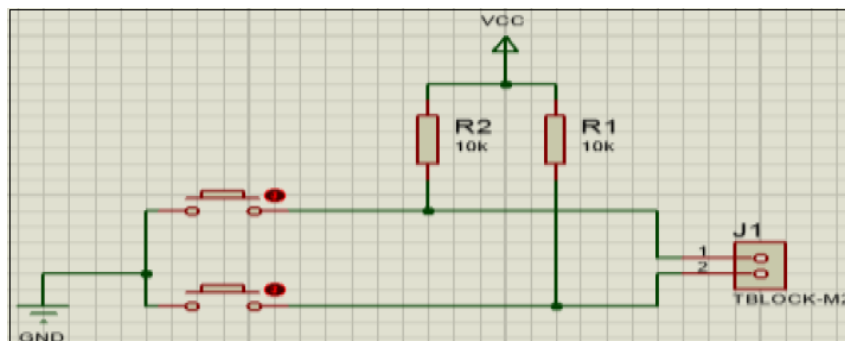


Figura 12. circuito del sensor de distancia. Fuente: (Arroyo, 2016)

Módulo del actuador eléctrico

Este tipo de actuador tiene como objetivo posicionar en la salida de la boca moldeadora unas rejillas divisoras para obtener la forma de las lengüetas. Este actuador lineal será desplazado

a través de un sistema de riel hasta la boca moldeadora al activarse la opción de fabricación de lengüetas en el panel de control (Arroyo, 2016). En la Figura 13 se visualiza el circuito del actuador eléctrico.

El actuador es de empuje doble y será controlado por un sistema puente H para el cambio de giro del motor del dispositivo y poder con esto accionar la salida y entrada del embolo, el desplazamiento del embolo a lo largo de los rieles será limitado por dos sensores final de carrera, ubicados en una posición inicial (A) y posición final (B) respectivamente. Este sistema de puente H será accionado por un par de relés de 12 VCC y este a su vez lo activará un optoacoplador, dicho optoacoplador funcionará bajo la acción de mando de un PIC 16F877A. (Arroyo, 2016, pág. 213)

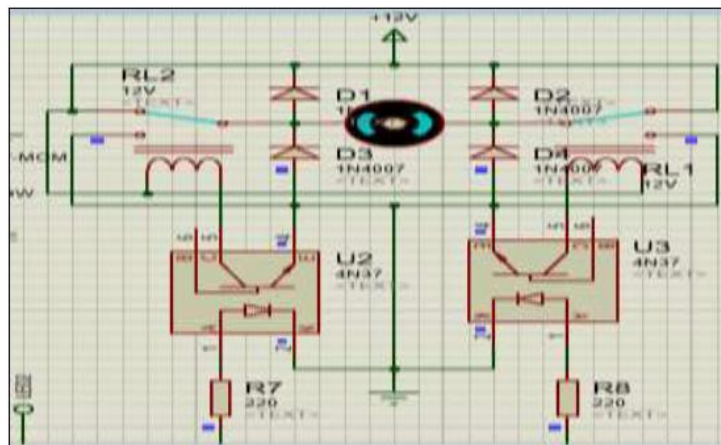


Figura 13. Circuito del actuador eléctrico. Fuente: (Arroyo, 2016)

Módulo de potencia de los motores

Este módulo refleja el sistema que le ofrece potencia el motor eléctrico que mueve al tornillo extrusor. Este tipo de motor es un DC monofásico de 3HP y 1735rpm. También se utiliza un relé de estado sólido, un disipador de calor para relé, breaker como sistema de protección para el motor por problemas en el fluido eléctrico y un relé térmico para ajustarse a la intensidad nominal del motor.

Módulo HMI

Este módulo es la interface entre el operador y la extrusora. Sirve para que se le suministre al equipo las piezas a fabricar en el sistema de producción. Consta de un panel de control que dispondrá de una pantalla LCD 16x2, en la cual se podrá visualizar las opciones del sistema

que se elijan a través de un switch y 5 pulsadores eléctricos. Esto se puede observar en la Figura 14.



Figura 14. Presentación del panel HMI de la extrusora de piezas de arcilla. Fuente: (Arroyo, 2016)

Módulo de control

Es uno de los módulos más importantes de todo el sistema mecatrónico. Utiliza un PIC16F877A que permitirá realizar las acciones que recibe de los sensores y del módulo HMI para dar respuesta al tornillo extrusor, clasificador de tamaño y tipo de rejilla a colocar para el producto a fabricar. En la Figura 15 se muestra el circuito del sistema de control de la extrusora de piezas de arcilla para uso de la construcción

ladrillos, debido a que pueden ofrecer buena resistencia a los ambientes de fríos en el exterior y mantienen el hogar con temperaturas altas, es decir son buenos aislantes térmicos. Esta cualidad les ha permitido ser los materiales por excelencia en áreas que involucran trabajos en el área industrial, como los hornos y calderas.

Existe una forma de fabricarlos y es a través del conformado hidrolástico. Este proceso utiliza un tornillo extrusor que permite desplazar la masa de arcilla desde una zona de entrada hasta la zona de salida la cual tiene una boca que permite moldear la arcilla a la forma establecida. La extrusora cuenta con variables como fuerza de arrastre de la arcilla, tiempo de trabajo y humedad de la arcilla.

Como la arcilla debe estar húmeda para que pueda desplazarse dentro de la camisa de la extrusora y evitar que se atasque entre esta y el tornillo extrusor. Su plasticidad permite que se amolde a la forma que pueda tener la matriz en la boca de salida de la extrusora, permitiendo que se puedan realizar una diversidad de productos.

La extrusora de piezas de arcilla para uso de la construcción tiene dos productos a fabricar que son los ladrillos y lengüetas, los mismos varían en el largo, grandes y pequeñas, por lo que se produce cuatro tipos de piezas. Aunado a este tipo de piezas son las de mayor demanda en las ventas.

El equipo se manipula con un operador que selecciona el tipo de material en específico. Al momento del encendido del motor se introduce barro al tornillo extrusor a través de la tolva y por la boca moldeadora sale extruido un bloque de barro que de acuerdo a lo seleccionado unas cuchillas se activan para dar el corte a las dimensiones requeridas, teniendo así una nueva vía de realizar extrusión de una manera más completa, práctica, eficaz, e innovadora para una mejor manera de llevar a cabo las labores de producción.

Referencias

Arroyo, K. (2016). *DISEÑO DE UNA MAQUINA EXTRUSORA DE PIEZAS DE ARCILLA PARA INVERSIONES ARROYO PÉREZ C.A.* Carora, Venezuela: Trabajo de grado

presentado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre.

- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2009). *Tema 4: Extrusión*. Tecnología de Polímeros.
- Callister, W. (2005). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Barcelona, España: Editorial Reverté, S. A.
- (2010). *Capítulo I: Análisis del proceso de cocción de la cerámica*.
- Ciencia_de_Materiales. (2004). *Tema 6. Compuestos cerámicos*. 4º curso, 2004/2005.
- DÁVILA DEL TORO, F. I. (2009). *DESARROLLO DE UNA TECNOLOGIA REFRACTARIA BASADA EN MgO-CaZrO₃ REFORZADO CON HERCINITA PARA HORNOS ROTATORIOS DE CEMENTO*. México: Tesis para optar al grado de DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES de la Universidad de Autónoma de Nuevo León.
- García, L. (2013). *Estudio y obtención de Concreto Refractario bajo cemento con alta resistencia térmica*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- VISOR. (1999). *Enciclopedia VISOR, Tomo 2*. Argentina: VISOR Enciclopedias Audiovisuales, S. A. .