

SISTEMA PARA FABRICAR DOMOS DE ACRÍLICO TIPO BURBUJA “PII”

Soto Muciño L. E, Reyes Reynoso R, Martínez Cosgalla J. J.
Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Azcapotzalco,
Avenida de las Granjas 682, Colonia Santa. Catarina, Azcapotzalco, CP 02550, México DF, México
Teléfono (01-55) 24650426 y 58654380
ingenieriadissa@hotmail.com, raul_reyes@festo.com, martinez_c_jj@yahoo.com

RESUMEN

El presente artículo contiene información acerca del proyecto “Sistema para fabricar domos de acrílico tipo burbuja”, cuyo propósito fundamental es optimizar un sistema que minimice el tiempo ciclo para fabricar domos, implementar un sistema de seguridad para minimizar las condiciones inseguras del operador y del proceso, maximizar la calidad del domo, homogeneizando las especificaciones del producto, para cumplir con los estándares de calidad establecidos. El sistema esta desarrollado en base a la investigación y realización de entrevistas a personas con experiencia en la fabricación de domos de acrílico tipo burbuja. La propuesta final se realizo, analizando el sistema actual para identificar las variables de proceso críticas y poder controlarlas, obteniendo una solución a algunos de los problemas y limitantes que se encuentran actualmente.

Palabras clave: domo tipo burbuja, sistema semi-automatico, optimizar tiempo ciclo, minimizar condiciones inseguras, maximizar calidad, variables de proceso.

ABSTRACT

This article contains information about the “System for bubble acrylic dome manufacturing” project, which main target is to optimize a system for minimizing the manufacturing cycle time, implement a security system to reduce risky conditions for the operator and the process, maximize the quality of the finish product, unifying the product specifications to get into quality standards. The system was developed through the research and interviews made to people with experience in the bubble domes manufacturing. The final proposal was gotten analyzing the actual system to identify and control the critical process variables, obtaining the solution for some problems and limitations in the actual process.

Key words: bubble dome, semi-automatic system, optimize cycle time, minimize risky conditions, maximize quality, process variables.

INTRODUCCION

Actualmente las tendencias en la industria de la construcción persiguen en sus diseños la idea de crear la sensación de espacios abiertos, el domo es un elemento que responde a esta necesidad. Esto ha provocado un considerablemente incremento en la demanda de este producto, desafortunadamente la única forma de fabricarlos que existe en nuestro país es el proceso artesanal, lo cual ha derivado en que la industria encargada de fabricarlos no sea capaz de satisfacer esta demanda a tiempo. Existen diversas razones para pensar en desarrollar un sistema automatizado para fabricar domos que pueda contribuir a mejorar este proceso y de esta manera presentar una solución no solo a la problemática antes mencionada, sino también a otros contratiempos que se presentan durante la producción. En un taller artesanal donde trabajan 3 personas dedicadas exclusivamente a la fabricación de domos, la producción promedio diaria asciende a 30 domos de diferentes medidas. La causa principal de que la producción sea tan limitada se debe a que no se cuenta con el equipo necesario para tener varias estaciones de manufactura y producir domos de forma simultánea, aunado a esto, la operación de las herramientas exige que por lo menos 2 personas se vean implicadas en la fabricación de éste. El sistema que se pretende desarrollar permitirá fabricar domos de manera simultánea, la cantidad de éstos depende de la medida, así mismo una sola persona será capaz de operar el sistema. Estas mejoras al proceso no solo se verán reflejadas en atender puntualmente a los tiempos de entrega, sino que también impactarán directamente en la calidad del producto, el costo de fabricación y la seguridad brindada al trabajador.

La idea de desarrollar un sistema automatizado para fabricar domos se basa primordialmente en controlar las diversas variables que intervienen en el proceso, lo cual se traduce en que el producto terminado cuente con una serie de especificaciones que den la seguridad de brindar al cliente un producto que responda a sus necesidades y que sea homogéneo. La ventaja de tener un proceso controlado no solo impacta en el resultado final, sino que permite disminuir al máximo las posibles fallas que pudieran provocar que el producto no cumpliera con todos los requerimientos y tuviera que ser fabricado nuevamente, de esta manera se evita el desperdicio de mano de obra principalmente, ya que la materia prima puede ser utilizada nuevamente. La aplicación de una tecnología no esta completa si no ofrece al trabajador la seguridad necesaria. En el proceso artesanal para fabricar domos el Operador se encuentra expuesto a diversos riesgos, el más relevante de todos es que tiene contacto directo con materiales que se encuentran a altas temperaturas, así mismo pasa mucho tiempo cerca del horno y esta en constante riesgo de ser impactado por alguna herramienta o material, ya que durante el proceso se manejan presiones de trabajo peligrosas. En el sistema propuesto, el Operador tiene el mínimo contacto con estas posibles causas de accidentes, ya que solo interviene directamente en la carga y descarga de material. Es indispensable recalcar la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías que contribuyan al desarrollo de nuestro país, recordemos que la principal herramienta con que cuenta una empresa para ser competitiva tanto en el ramo nacional como en el internacional, es su tecnología, ya que ésta le permitirá mantener altos índices de calidad, al tiempo que eleva su productividad y reduce costos y de esta forma poder ofrecer un mejor precio de venta al cliente final.

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE TRABAJO

El proceso inicia cuando se recibe la materia prima por parte del proveedor, ésta se traslada a un área cercana a la zona de producción destinada para almacenar la materia prima. Cuando un pedido es ingresado para ser manufacturado se selecciona la lámina de acrílico con el espesor óptimo y se corta según las dimensiones requeridas, que pueden ser de tamaño estándar ó especiales de acuerdo a la necesidad del cliente. La lámina de acrílico es cortada con una sierra caladora de uso profesional y se utiliza agua como refrigerante. Una vez cortado el material se procede a calentar hasta el punto de reblandecimiento, cabe mencionar que el operador desconoce dicha temperatura y no cuenta con un sistema de control preciso, por lo tanto debe recurrir al conocimiento empírico que ha adquirido a base de su participación en dicho proceso. El calentamiento se realiza en un horno vertical a base de gas LP el cual se enciende al iniciar la jornada laboral y se apaga al término de ésta. La lámina de acrílico, se sostiene con pinzas de presión que están montadas sobre un riel cuya función es introducir y retirar el material del horno, evitando el contacto directo del operador con la flama. Para desmontar el acrílico, el operador utiliza guantes de carnaza para transportar el material hasta la mesa de trabajo situada a 5 metros de distancia aproximada. Se coloca un marco sobre el material con las dimensiones de éste y ambos son sujetados a la mesa de trabajo utilizando prensas de banco, la cantidad de éstas varía de 8 a 16 piezas según la medida. La siguiente etapa del proceso es la extrusión donde se obtiene la forma del domo a partir de la lámina de acrílico, para esto la mesa cuenta con un agujero en el centro en el cual está sujeta una manguera con plastilina epóxica, dicha manguera está conectada a un compresor de aire. La extrusión inicia cuando el operador acciona la válvula de paso manual permitiendo la salida del aire, el cual no tiene contacto directo con el acrílico ya que de ser así se rompería, por lo tanto cuenta con un pedazo de cartón de 30 x 30 cm. Aproximadamente, éste tendrá la función de disminuir la presión de impacto y además de dispersar aire en toda la superficie del domo. Debido a la geometría del domo, la variable que se debe controlar es la altura del mismo pero no se cuenta con un instrumento de medición ideal, por lo que depende del cálculo visual del operador. Una vez alcanzada la altura deseada, se activa una segunda válvula de paso manual que cumple con dos funciones, la primera es desviar el flujo de aire inyectado en el domo para evitar que la altura de éste siga en aumento, la segunda es suministrar el flujo de aire a través de una manguera con la cual el aire desviado enfriará el domo, acelerando la disminución de temperatura hasta su estado inicial.

Una vez formado el domo en su totalidad, se cierran las válvulas de paso y se retiran las prensas junto con el marco. El producto terminado se lleva al almacén.

SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

Distancia a recorrer: 2m. Para evitar grandes aceleraciones y desaceleraciones se utilizará un moto reductor que proporcione una velocidad angular de aproximadamente 20 rpm. Dado que la velocidad angular a transmitir es baja, la potencia a transmitir también lo es, por tanto se ha elegido una cadena cuyo paso sea de 0.0127m (½ pulgada). Para tener un mayor control del sistema de movimiento se buscará que el diámetro de la catarina no sea grande, así la distancia recorrida por cada revolución será menor. Respetando las recomendaciones de los proveedores se propone que tanto la catarina motriz como la conducida tengan 26 dientes.

MASA TOTAL DEL SISTEMA.

La masa total del sistema se obtiene sumando la masa de la materia prima, del marco, las catarinas y de la cadena.

$$m_r = 31.35348kg$$

Por tanto el peso total del sistema será de 307.57 N. Se seleccionaron catarinas de 26 dientes y paso 0.0127m, por ser adecuada a las dimensiones del sistema, en base a esto es posible calcular el diámetro de la catarina:

$$D = \frac{paso}{\text{sen}\left(\frac{180}{\text{dientes}}\right)} = \frac{12.7}{\text{sen}\left(\frac{180}{26}\right)} = 0.10536m$$

Conociendo el peso total del sistema y el diámetro de la catarina se puede calcular el par que debe desarrollar el motor:

$$T = W \times D = 307.57N \times 0.10536m = 32.40 Nm$$

Conociendo el par se calculan los HP que transmitirá la cadena:

$$P = \frac{T \times 8.851 \times rpm}{63025} = 0.091 HP$$

Donde:

$$T = \text{Torque o Par Motriz (Nm)}$$

$$F = \text{Fuerza (N)}$$

$$d = \text{Dis tan cia (m)}$$

$$W = \text{Peso (N)}$$

$$D = \text{Diametro de la Catarina (m)}$$

$$P = \text{Potencia (HP)}$$

Como se mencionó anteriormente debido a la baja velocidad angular del sistema y a que el par a desarrollar es pequeño se tiene que la potencia a transmitir es demasiado baja, por tanto la cadena es apta para el trabajo.

Teniendo en cuenta que:

$$T = 32.4Nm$$

$$rpm = 20$$

En la tabla 1 se muestran las características del motoreductor propuesto para el sistema: Moto reductor GR63X55/PLG70.

CARACTERISTICAS		24V/0195
1.	Relación de reducción	195
2.	Número de etapas	3
3.	Rendimiento	0.7
4.	Velocidad en vacío	Rpm 19
5.	Velocidad en carga	Rpm 16
6.	Par nominal	Nm 43
7.	Corriente nominal	A 4.9

Tabla 1 Características técnicas del moto reductor

PRESIÓN NECESARIA PARA EXTRUIR EL DOMO.

Debido a la relación que existe entre el área y el espesor de la placa de acrílico, y dado que la deformación es muy grande, el comportamiento del sistema no esta sujeto a las leyes de Mecánica de Materiales convencional y se debe de analizar por medio de la teoría de membranas ^[06], por lo tanto se optó por modelar el sistema en el software ANSYS y realizar el análisis por el método de elemento finito.

Para realizar el análisis se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

$$\text{Modulo de elasticidad } E = 1.4 \text{ GPa}^{[12]}$$

$$\text{Volumen} = 0.29 \text{ m}^3$$

Esfuerzo de ruptura: 83 MPa., Temperatura de reblandecimiento: 90 °C., Tomando en cuenta también las siguientes restricciones:

Los extremos de la placa son restringidos 2 cm., Se aplicó una presión que genere una deformación en dirección Z 12 cm, Se procedió a realizar el modelado y análisis numérico. En la Fig. 1 se puede apreciar el modelo de la placa de acrílico y las zonas restringidas por el marco de sujeción, así como el área donde se aplicó la presión.

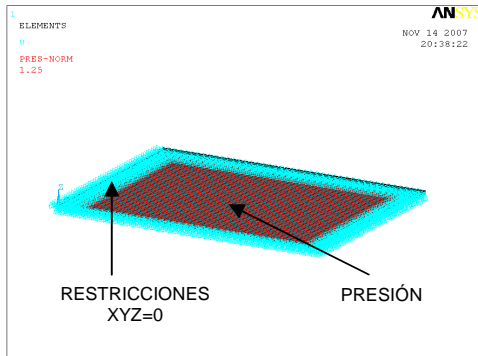


Figura 1 Modelo de elemento finito

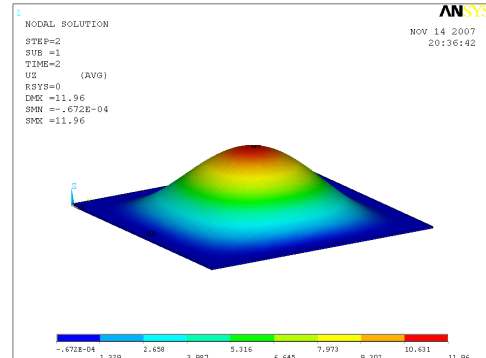


Figura 2 Resultado del desplazamiento en Z (cm)

En la Fig.2 se observa el diagrama de la deformación de la placa de acrílico, se puede apreciar que en la zona restringida la deformación fue nula y en la parte central se logró la máxima deformación llegando a niveles críticos que indican que si se siguiera aplicando presión la placa tendería a fracturarse.

De la Fig. 3 se obtienen las zonas donde existe la mayor concentración de esfuerzos, siendo ésta el límite del marco de sujeción, pero sin llegar a ser crítico.

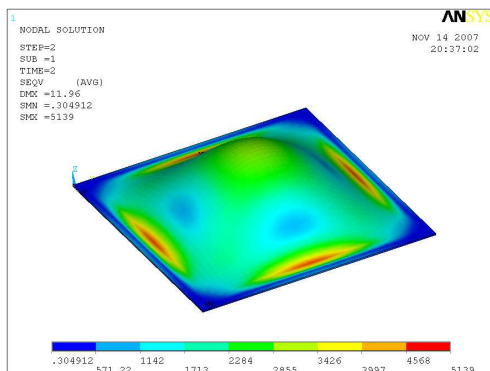


Figura 3 Resultados de esfuerzos en Z (cm)

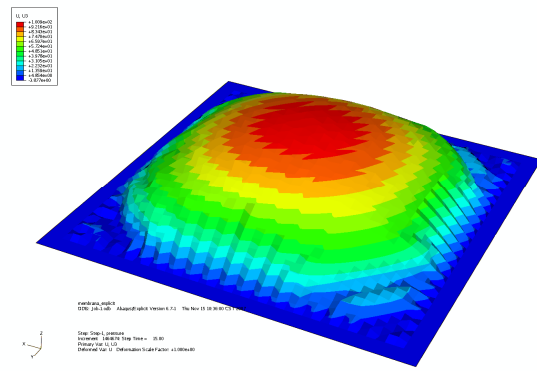


Figura 4 Domo extruido

En la fig. 4 se observa la forma final del domo extruido. De acuerdo con análisis por elemento finito se obtuvieron los siguientes resultados:

- Presión aplicada: 0.69MPa
- Volumen de aire inyectado: 0.014 m³
- Desplazamiento obtenido: 0.11 m

Aun sabiendo de lo anterior que la presión requerida para la extrusión será la misma para todos los domos, es necesario conocer el volumen de aire requerido para extruir cada medida de domo. Dado que la forma del domo es demasiado compleja, el volumen se calculó realizando el modelado del sólido en el programa de diseño Solid Works. Los valores de volúmenes obtenidos se muestran en la tabla 2.

MEDIDA	VOLUMEN (m ³)	MEDIDA	VOLUMEN (m ³)
44X 44	0.014582137	90 X 120	0.160117505
44 X 150	0.058041996	90 X 150	0.21627559
44 X 180	0.069418744	120 X 180	0.42277628
44 X 240	0.104333638	120 X 240	0.594622281
60 X 90	0.05602064	150 X 180	0.59433058
60 X 120	0.082209601	150 X 240	0.876676086
60 X 240	0.20121868	180 X 240	1.155054792

Tabla 2 Volumen de los domos según las dimensiones de la base.

ACTUADORES PARA SUJETAR EL MARCO CON LA PLACA DE MATERIAL A LA MESA DE EXTRUSIÓN.

La masa total del marco con la placa de material para el domo más grande y por tanto el más pesado y sobre el cual basaremos el diseño, es de 19 kg aproximadamente y por tanto su peso es de:

$$W = mg = (19kg) \left(9.81 \frac{m}{s^2} g \right) = 186.39N$$

Dado que este peso será soportado por 6 pistones, cada uno tendrá

una carga de: 31.065N la cual es relativamente pequeña y se puede decir que la mayoría de los actuadores neumáticos que existen en el mercado pueden soportar esta carga.

Por conveniencia de espacio se ha seleccionado un actuador neumático de doble efecto cuyas características se muestran en la tabla 3:

MODELO	449 50 073
FLUIDO	Aire o gas natural filtrado, lubricado o sin lubricar
PRESIÓN	1000 kPa máximo
TEMPERATURA	-20°C, +70 °C
DIAMETRO DE VÁSTAGO	0.032 m
CARRERA RECOMENDADA	0.005 – 0.025 m
VELOCIDAD	0.5 m/s máximo

Tabla 3 Ficha técnica del pistón a utilizar

De estos datos se procede a elegir la carrera del actuador y se observa que entre los valores recomendados el máximo es de 0.025 m y será el elegido.

Se procede a calcular la presión necesaria para que el actuador pueda desarrollar la carga de 31.065 N requerida:

$$P = \frac{F + F_F}{A}$$

Donde:

$$F = Carga$$

$$A = Superficie\ útil$$

$$F_F = Fuerza\ de\ fricción$$

Para fines prácticos se considerará la fuerza de fricción de 20% de la carga necesaria, por tanto:

$$P = \frac{(46.6N) + [(46.6N)(0.20)]}{\left(\frac{((0.032mm)^2 - (0.008mm)^2)(\pi)}{4} \right)}$$

$$P = 74166.20Pa = 0.741662Bar$$

SELECCIÓN DEL REGULADOR DE PRESIÓN

De aquí se utilizará el modelo IDS-2-RM dado que la capacidad de almacenamiento del tanque es mayor, este dato es intrascendente ya que como se observó anteriormente lo ideal sería tener un compresor con un tanque de almacenamiento de aproximadamente 1.2 m³ pero este ocuparía un espacio excesivo además de que requeriría cimentación y sería muy costoso. El compresor elegido proporciona una presión de hasta 810600 Pa lo cual es suficiente para el proceso. Dado que las presiones requeridas son mucho menores se utilizará un regulador de presión, este será elegido en función de la presión necesaria para la extrusión de los domos ya que es en la que se debe cuidar la precisión, los actuadores pueden operar a una presión máxima de 1000 kPa.

SELECCIÓN DEL REGULADOR DE PRESIÓN

Basta considerar la presión deseada y la presión que otorga el compresor para seleccionar el regulador, Establecemos que:

$$P_{MIN} = 109400 Pa$$

$$P_{MAX} = 810600 Pa$$

El Modelo de Regulador adecuado para el proceso es:



Figura 5 Regulador de Presión

Cuyos datos técnicos se muestran en la tabla 4:

TIPO 42-24 A · con punto de consigna ajustable, accionamiento con limitador de fuerza y protección de sobrecarga

<u>DATOS TÉCNICOS</u>	<u>HOJA TECNICA</u> <u>T 3003</u>
Diámetro nominal	DN 15 a 250
Presión nominal	PN 16 a 40
Punto de consigna presión diferencial	5 a 1000 kPa
Temperatura de aire y gases no inflamables	Hasta 80 °C

Tabla 4 Características técnicas del regulador de presión seleccionado

ENSAMBLE DEL SISTEMA

Para el ensamble de la máquina es necesario tener la estructura que consta de 3 partes, estructura de la mesa de carga, estructura del horno y la estructura de la mesa de extrusión, una vez unidas se procede a montar el sistema de transmisión, comenzando con la flecha motriz, esta va montada en la estructura de la mesa de carga, las 6 flechas

conducidas serán colocadas a lo largo de la máquina, teniendo solo 2 flechas de soporte en cada mesa, una de cada lado, todas las flechas tendrán la misma catarina ya que no se pretende manipular la velocidad ni el torque de entrada. Después se montará el recubrimiento y el quemador en la estructura del horno, y quedará como se muestra el diagrama (en esta zona solo quedará la conexión para el quemador, ya que la instalación dependerá del cliente). El siguiente paso es el ensamble de los elementos en la zona de extrusión tales como son los baleros y rodillos en las flechas de soporte, una vez montado, lo siguiente es ensamblar los pistones de sujeción en cada uno de los postes de la mesa, sobre los pistones se colocará la placa de extrusión. Las conexiones quedarán sobrepuestas, la instalación del compresor y mangueras dependerán del cliente. Por último se colocará el controlador y los interruptores de límite, una vez ensamblados se procede a cablear todos los elementos como el motor, interruptores de límite, sensores electromagnéticos y PLC. Una vez que esten alambrados se colocarán las paredes de la mesa de carga y de la mesa de extrusión junto con la puerta de descarga.

INGENIERÍA DE CONTROLES

En el diagrama se observa la lógica de controles, es decir el funcionamiento de los interruptores motores y sensores. Al comienzo de este diagrama se puede observar un botón N/C (normalmente cerrado o botón de paro), conectado en serie con el botón de paro de emergencia se encuentra el botón de arranque el cual, al presionarlo dará comienzo al sistema de transmisión (motor M1), en paralelo al botón de arranque está el contactor del relevador, la función de este contactor, es evitar que se mantenga oprimido el botón de arranque. El sistema contará con 2 interruptores de límite, en donde su función es saber si la materia prima (acrílico) ha llegado a su posición correcta en la siguiente etapa de proceso. El primer interruptor de límite que se observa es el LS1 (“Limit Switch”) este estará colocado en la sección del horno, una vez que el marco con la lámina de acrílico se posicione en ésta sección, el sistema de transmisión se detendrá un momento y el temporizador T1 se activará, cuando este termine su tiempo especificado el sistema de transmisión arrancará nuevamente. El segundo interruptor de límite LS2 se encuentra en la zona de extrusión y activará a 2 temporizadores T2 y T3, estos temporizadores activaran y desactivaran los solenoides SV1 y SV2, estas a su vez controlan los pistones de sujeción, cada uno de los pistones contará con un sensor electromagnético, para la lógica de control, en la conexión física se conectan independientemente, estos sensores activaran a los temporizadores T4 y T5, los temporizadores activarán a su vez a los solenoides SV3 y SV4, los solenoides controlaran a la válvula de extrusión. Cuando los temporizadores T4 y T5 terminen sus secuencias de tiempo, cerrarán la válvula de extrusión, al encontrarse cerrada, el solenoide SV2 desactivará los pistones de sujeción y el proceso concluirá hasta que se oprima de nuevo el botón de arranque. Las conexiones físicas, con el suministro de energía eléctrica de 120 V al transformador y fuente de alimentación de 24 V del sistema de control, se muestra un botón N/C que es un paro de emergencia junto con el relevador RPA, si se llegará a presentar alguna falla o accidente, este botón detendrá todo el sistema. También el sistema cuenta con fusibles de protección para la tarjeta de entradas y salidas del PLC. La tarjeta de entrada, contiene los elementos que darán las condiciones para las señales, como botones de paro y arranque, interruptores de límite y sensores electromagnéticos. La tarjeta de salidas, tiene el manejo de los elementos que actuaran de acuerdo a las condiciones de entrada, tales como solenoides y el motor. En la etapa neumática se manejan todas las conexiones y elementos utilizados, desde el compresor. La instalación neumática también cuenta con un sistema de seguridad, que consta de una válvula de accionamiento manual, este evitará que si se llega a presionar por error el botón de arranque, los actuadores neumáticos no se activaran pues faltará el aire a presión. Las válvulas 5/2 (5 vías 2 posiciones) que se utilizaran, una para el control de los pistones de sujeción y la otra para la zona de extrusión, ambas con sus respectivos solenoides ya mencionados anteriormente. En los pistones se utilizan los sensores electromagnéticos y las válvulas check para regular el flujo de aire. A continuación la selección de componentes:

CANTIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD	DESCRIPCION
2	Válvula direccional 5/2	4	Bobina con conector
1	PLC	4	Relevador
1	Fuente de 24 volts	1	Gabinete
6	Actuadores neumáticos	1	Botón paro de emergencia
2	Regulador de flujo	1	Botón de paro
2	Silenciadores	1	Botón de arranque

Tabla 5 Componentes de la Ingeniería de Controles

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Al operar la máquina, primero se debe seleccionar el marco adecuado, según las medidas del domo a realizar, una vez seleccionado se procede a montar la materia prima en el marco y se coloca en la zona de carga, cuando se ha colocado el material en la zona de carga, se procede a oprimir el botón de arranque, el cual accionará el sistema de transmisión, que desplazará el material hasta la zona de calentamiento. Dentro del horno se encontrará un limit switch, éste se accionará hasta que el marco se encuentre en la posición adecuada, al accionarse activará un temporizador, que desconectará el sistema de transmisión por unos minutos (el tiempo suficiente para llevar al acrílico al punto de reblandecimiento), cuando termine el contador del temporizador se volverá a activar el sistema de transmisión, ésta vez desplazándolo a la zona de extrusión. Al igual que en el horno, la mesa de extrusión también contará con un limit switch, que asegurará la posición adecuada del marco y activará otro temporizador, el temporizador ahora activará los pistones para sujetar el marco, cada pistón contará con un sensor, el cual servirá para asegurar la correcta sujeción del marco, y así poder ser extruído; cuando todos los pistones se encuentren en la posición correcta se activará otro temporizador que a su vez activará la válvula de extrusión. El aire utilizado se hará pasar por un regulador de presión y una válvula de flujo, esto para evitar que reviente la burbuja de acrílico, cuando se ha terminado el domo, se cierra la válvula de extrusión y una señal es mandada a la válvula que controla los pistones para que dejen de presionar el marco y el Operador pueda sacar el producto terminado.

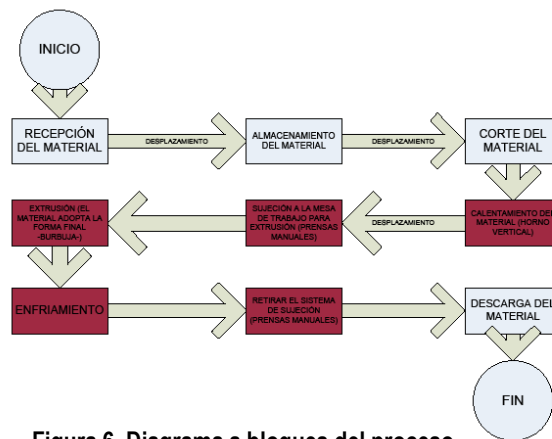


Figura 6 Diagrama a bloques del proceso

Dentro del horno se encontrará un limit switch, éste se accionará hasta que el marco se encuentre en la posición adecuada, al accionarse activará un temporizador, que desconectará el sistema de transmisión por unos minutos (el tiempo suficiente para llevar al acrílico al punto de reblandecimiento), cuando termine el contador del temporizador se volverá a activar el sistema de transmisión, ésta vez desplazándolo a la zona de extrusión. Al igual que en el horno, la mesa de extrusión también contará con un limit switch, que asegurará la posición adecuada del marco y activará otro temporizador, el temporizador ahora activará los pistones para sujetar el marco, cada pistón contará con un sensor, el cual servirá para asegurar la correcta sujeción del marco, y así poder ser extruído; cuando todos los pistones se encuentren en la posición correcta se activará otro temporizador que a su vez activará la válvula de extrusión. El aire utilizado se hará pasar por un regulador de presión y una válvula de flujo, esto para evitar que reviente la burbuja de acrílico, cuando se ha terminado el domo, se cierra la válvula de extrusión y una señal es mandada a la válvula que controla los pistones para que dejen de presionar el marco y el Operador pueda sacar el producto terminado.

DISCUSIÓN

Para elegir las tecnologías a implementar en el sistema de entre la gran variedad existente, se realizó una matriz de discusión la cual permitió evaluar dichas opciones en base a criterios ponderantes, los cuales fueron:

- ✓ Precio
- ✓ Tamaño
- ✓ Funcionalidad
- ✓ Costo de Mantenimiento
- ✓ Ahorro energético

En la tabla 6 se muestra la matriz de discusión reducida.

	Opción	Calificación	Selección
Sistema de transmisión	Banda - Polea	9	X
	Cadena - Catarina	11	✓
	Tren de engranes	10	X
Controlador	PLC	11	✓
	PIC	10	X
	AVR	9	X
Sistema de calentamiento	Gas	9	✓
	Resistencias eléctricas	6	X
Estructura	Ángulo	8	X
	Cuadrado PTR	10	✓
	Solera	6	X
Motor	Paso a Paso	11	X
	Servo	6	X
	Reductor	13	✓

Tabla 6 Matriz de discusión

CONCLUSIONES

Del estudio realizado se concluye que la implementación de un sistema semi automatizado en el proceso de fabricación de domos de acrílico tipo burbuja para diseños arquitectónicos, contribuyó a optimizarlo.

Esta conclusión tiene como base las mejoras observadas en los aspectos de costo, tiempo ciclo de fabricación, calidad del producto y seguridad del Operador; dichas mejoras tienen como resultado principal minimizar el tiempo de entrega y tener la capacidad de atender la demanda en tiempo y forma, todo esto representa un incremento considerable en el nivel de competitividad de la empresa que implemente el sistema.

Así mismo cabe mencionar que la realización de este tipo de investigaciones ofrece opciones de implementación de tecnología a bajo costo, teniendo como clientes potenciales a las pequeñas y medianas empresas, fomentando el proceso de desarrollo e innovación tecnológica en vez de la importación de ésta.

RECOMENDACIONES

*La realización de la propuesta del sistema semi automatizado para fabricar domos; no se pudo llegar al nivel de automatización completa debido al corto tiempo del que se disponía para desarrollarlo y recurso económico.

*Diseño de un sistema automático de carga y descarga del material, el cual puede ser mediante el uso de un manipulador.

*Agregar una estación de trabajo para el corte de la materia prima.

* El uso de fabricar domos a partir de otra materia prima como podría ser el poli carbonato, el cual se espera que en algunos años penetre fuertemente en el mercado, cabe mencionar que el sistema desarrollado en esta investigación es capaz de fabricar domos de poli carbonato, siempre y cuando se calculen y reprogramen las variables de temperatura de reblandecimiento, tiempo de desplazamiento y presión de extrusión.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece al Instituto Politécnico Nacional y a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, ESIME Unidad Azcapotzalco por el apoyo. Los autores agradecen al Prof. Roberto Soto Najera por el asesoramiento técnico para la realización de este proyecto.

REFERENCIAS

[1] Diccionario de la Real Academia Española, 2002.

[2] Reyes Reynoso R., Soto Muciño L.E. "Metodología para el Desarrollo de Proyectos de Ingeniería", Administración e Instrumentación, Editorial Brambila, Primera Edición, México, D. F., 2007.

[3] Enclopedia del plástico tomo 1 2000 Instituto Mexicano del Plástico.

- [4] Centeno Gutiérrez, R. Reyes Reynoso R. Soto Muciño L. E., 2º Congreso de Ingenierías Mecánica, Eléctrica, Electrónica y Mecatrónica “Universidad Autónoma Metropolitana” (CIMEEM 2007), Artículo publicado: Máquina Automática Expendedora de Agua Saborizada.
- [5] Transformación del plástico, VK. Savgorodny Editorial Gustavo Hill, Barcelona 2002.
- [6] Extrusión de plásticos, principios básicos, Luís Fco. Ramo de Valle, Editorial Limusa, 2002.
- [7] Manual de Fórmulas Roacks
- [8] Cortez Olivera R, Sánchez Martínez R., Martínez Cosgalla J. J., “Análisis de Vigas”, Editorial Spanta S.A. de C.V., México 2000
- [9] Entrevistas realizadas especialistas de la operación de trabajo. (Fecha de realización: 27 marzo 2007) * José Campos 25 años de experiencia trabajando con acrílico, * José Landeros 15 años de experiencia fabricando domos
- [10] Campos Martínez X. G., Rojas Muños R. E., Salmerón Vélez O. J.. Tesis “Sistema para Fabricar Domos Tipo Burbuja para Diseños Arquitectónicos”, México D.F. 2007.

CURRICULO

M. en C. Raúl Reyes Reynoso

- * Catedrático de la Academia de Proyecto de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Azcapotzalco, Instituto Politécnico Nacional.
- * Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería de Sistemas por la Sección de Estudios de Postgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Adolfo López Mateos del Instituto Politécnico Nacional.
- * Ingeniero en Control y Automatización por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, IPN.
- * Especialista en el desarrollo de sistemas de automatización, generación y control de proyectos y consultoría Industrial en el Sector Automotriz.

M. en C. Luis Enrique Soto Muciño

- *Catedrático de la Academia de Proyecto de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Azcapotzalco, Instituto Politécnico Nacional.
- * Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería de Sistemas por la Sección de Estudios de Postgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Adolfo López Mateos del Instituto Politécnico Nacional.
- * Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica por la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Culhuacán, IPN.
- * Especialista en procesos de manufactura y automatización industrial, diseño e implementación de sistemas de calidad, diseño, fabricación y puesta en marcha de equipo original.

M. en C. Juan José Martínez Cosgalla.

- * Actualmente presidente de la academia de proyecto de la ESIME Unidad Azcapotzalco,
- *Catedrático de la Academia de Proyecto de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Azcapotzalco, Instituto Politécnico Nacional.
- * Especialista en Diseño Mecánico.
- *Conferencista de temas relacionados a la Automatización, la Generación y Control de Proyectos en Congresos en Instituciones como el Instituto Politécnico Nacional, Institutos Tecnológicos, Universidad Autónoma Metropolitana, Universidad Tecnológica de México, articulista en diversos foros entre otros.