

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Diseño de una máquina productora de adobes en serie

Andrés Sebastián Jarrín Carrillo

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Quito, enero 2010

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACION DE TESIS

Diseño de una máquina productora de adobes en serie

Andrés Sebastián Jarrín Carrillo

Pedro Meneses, M.Sc.
Director de Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

Laurent Sass, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis

Edison Bonifaz, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis

Fernando Romo, M.Sc.
Decano del Colegio Politécnico

Andrés Proaño, M.Sc.
Miembro del Comité de Tesis

Quito, enero 2010

© Derechos de autor

Andrés Sebastián Jarrín Carrillo

2010

RESUMEN

El presente proyecto: “Diseño de una máquina productora de adobes en serie”, describe el diseño de una máquina segura y confiable que fabrica adobes de manera continua y automática. Mediante pistones hidráulicos se pretende fabricar alrededor de 1000 adobes por jornada de trabajo. El tiempo de curado de estos disminuirá, pues la compresión que se calculó será lo suficientemente considerable para que el uso de agua en cada adobe sea casi nula. Adicionalmente, se diseñó un controlador lógico programable (PLC) que cuenta con una secuencia lógica cíclica, desde que se agrega la tierra y su granulometría, hasta que la pieza de adobe este lista. Tomando en cuenta estas características de la máquina, se garantiza que las propiedades en cada adobe sean las adecuadas (Compactación, tamaño, uniformidad, confort acústico y térmico) , y que se encuentren bajo los parámetros necesarios para la construcción de viviendas. De esta manera, el sistema de construcción con adobe puede ser incrementado, además se constituye en una alternativa para la gente de pocos recursos económicos y para aquellos que quieren habitar una casa que utiliza los recursos naturales, como parte de un compromiso ambiental.

ABSTRACT

This Project: "Design of a machine that produces adobe," describes the design of a safe and reliable machine that manufactures blocks of earth continuously and automatically. By hydraulic pistons, it will be fabricating around 1000 bricks per working day. The curing time for each adobe decreases, since the compression was calculated to be substantial enough so that the use of water in each block of earth is almost nil. Additionally, we designed a programmable logic controller (PLC), which has a cyclical sequence, beginning with the addition of the soil and its granulometry, until the piece of Adobe is ready. Given these characteristics of the machine, it ensures that all the properties are adequate (compaction, size, uniformity, acoustic and thermal comfort), for the adobe and that they are under the parameters needed for housing construction. Thus, the adobe building system can be increased, constituting an alternative for people on low incomes and for those who want to inhabit a home that uses natural resources as part of an environmental commitment.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.3 OBJETIVOS DEL PRESENTE PROYECTO	3
1.3.1 <i>Objetivo Final del proyecto</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos Específicos del Proyecto</i>	3
1.4 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	3
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 DEFINICIÓN Y COMPOSICIÓN DEL ADOBE.....	5
2.2 HISTORIA DEL USO DEL ADOBE EN LA CONSTRUCCIÓN	6
2.3 FABRICACIÓN DEL ADOBE EN LA ACTUALIDAD	7
3. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE UNA MAQUINA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ADOBES.....	10
3.2 MÁQUINAS DE ADOBE MANUALES Y SEMI-AUTOMÁTICAS EXISTENTES.....	17
3.3 PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS BÁSICOS	20
4. ESQUEMA DE DISEÑO	23
4.1 DESCRIPCIÓN DE PROPUESTA DE FUNCIONAMIENTO	23
4.2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA FABRICACIÓN DE ADOBE DE FORMA AUTOMATIZADA	25
4.2.1 <i>Secuencia de Operación</i>	25
4.3 DESCRIPCIÓN DE LA FUERZA DE COMPRESIÓN	27
5. DISEÑO HIDRÁULICO.....	31
5.1 DISEÑO HIDRÁULICO DE LOS PISTONES	31
5.1.A <i>Diseño hidráulico del Pistón Dosificador</i>	31
5.1.B <i>Diseño hidráulico del Pistón de Compactación</i>	35
5.1.C <i>Diseño hidráulico del Pistón de descarga</i>	37
5.2 SELECCIÓN DE BOMBA HIDRÁULICA	38

5.3 RESUMEN DE REQUERIMIENTOS PARA EL FUNCIONAMIENTO ADECUADO DE ACTUADORES HIDRÁULICOS	39
5.4 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA HIDRÁULICO	41
5.5 REPRESENTACIÓN SIMBÓLICA Y DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE FORMAN EL SISTEMA HIDRÁULICO	42
6. DISEÑO MECÁNICO	47
6.1 DISEÑO DEL BASTIDOR.....	47
6.2 SOLDADURA.....	52
7. SISTEMA DE CONTROL.....	57
7.1 DEFINICIÓN DE ENTRADAS DEL SISTEMA	58
7.2 DEFINICIÓN DE SALIDAS DEL SISTEMA.....	61
7.3 ALGORITMO DE CONTROL	62
7.4 PROGRAMACIÓN FBD (FUNCTION BLOCK DIAGRAM).....	63
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
8.1 CONCLUSIONES	66
8.2 RECOMENDACIONES.....	67
ANEXO A. COMPONENTES DE LOS 3 PISTONES HIDRÁULICOS DE MARCA PRINCE ¡ERROR!	
MARCADOR NO DEFINIDO.	
A.1. DESGLOSE DE CADA COMPONENTE DE LOS PISTONES HIDRÁULICOS. DETALLE DE NUMERACIÓN Y NOMENCLATURA DE CADA PARTE QUE LO COMPONEN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
A.2. CARACTERÍSTICAS: CARRERA, DIÁMETRO EXTERIOR Y NUMERACIÓN DEL PISTÓN DOSIFICADOR	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
A.3. CARACTERÍSTICAS: CARRERA, DIÁMETRO EXTERIOR Y NUMERACIÓN DEL PISTÓN DE COMPACTACIÓN Y PISTÓN DE EXTRACCIÓN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ANEXO B. CÁLCULOS PARA DETERMINAR FUERZA, PRESIÓN, Y ÁREA NECESARIA

..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

B.1. CÁLCULO DE FUERZA Y ÁREA NECESARIAS EN PISTÓN DOSIFICADOR..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ANEXO C. ENTREVISTAS CON ARQUITECTOS Y PROPIETARIOS.... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

C.1. ENTREVISTA A JORGE ECHEVERRÍA, EXPERTO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS CON ADOBES.

..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

C.2. ENTREVISTA AL ARQUITECTO MARIO GANGOTENA, EXPERTO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS CON ADOBES..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

C3. ENTREVISTA A PROPIETARIO DE VIVIENDA FABRICADA CON ADOBE..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ANEXO D. PLANOS..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

D.1. PLANOS DE LA MÁQUINA PRODUCTORA DE ADOBES: ISOMETRÍA GENERAL Y CADA PIEZA CON DETALLE Y ACOTAMIENTO DE LA MÁQUINA. ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ANEXO E..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

E.1 SIMULACIÓN DE SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA DE PRODUCTORA DE ADOBES, MEDIANTE EL PROGRAMA LOGO SOFT CONFORT..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

E.2 DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LA MÁQUINA PRODUCTORA DE ADOBES..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ADOBES FABRICADOS MANUALMENTE PARA SER USADOS EN CONSTRUCCIÓN DE CASAS.....	5
FIGURA 2. ADOBES FABRICADOS CON PAJA.....	6
FIGURA 3. ELABORACIÓN MANUAL DE ADOBE.....	18
FIGURA 4. MÁQUINA SEMI–AUTOMÁTICA PARA LA FABRICACIÓN DE ADOBES	19
FIGURA 5. DISEÑO DE FUNCIONAMIENTO PARA UNA MÁQUINA QUE FABRIQUE ADOBES DE MANERA CONTINUA Y AUTOMÁTICA	24
FIGURA 6. GATO HIDRÁULICO INFERIOR QUE SOSTIENE Y PERMITE ASEGURAR Y DAR FORMA A LA PIEZA DE ADOBE.....	28
FIGURA 7. GATO HIDRÁULICO SUPERIOR, QUE PERMITE DAR LAS DISTINTAS PRESIONES DE COMPACTACIÓN.	29
FIGURA 8. PESO DE UNA MUESTRA DE ADOBE COMPACTADO CON GATOS HIDRÁULICOS.....	30
FIGURA 9. PISTÓN DOSIFICADOR DE MARCA PRINCE	33
FIGURA 10. PISTÓN DE COMPACTACIÓN DE MARCA PRINCE.....	36
FIGURA 11. SECUENCIA DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	41
FIGURA 12. DEPOSITO DEL FLUIDO HIDRÁULICO.....	42
FIGURA 13. FILTRO CAPTADOR DE PARTÍCULAS SÓLIDAS	43
FIGURA 14: CILINDRO DE DOBLE EFECTO.....	43
FIGURA 18. VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN.....	45
FIGURA 19. MANÓMETRO DE PRESIÓN.....	46
FIGURA 20. CONDUCTO: LÍNEA GUÍA POR DONDE FLUYE EL ACEITE HIDRÁULICO	46

FIGURA 21. UNIÓN: REPRESENTACIÓN DE JUNTAS DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	46
FIGURA 22. PLACA DE SOPORTE PARA EL PISTÓN DE COMPACTACIÓN.....	47
FIGURA 23. MOMENTO DE INERCIA PARA CUERPO RECTANGULAR.....	48
FIGURA 24. SOPORTE DE LA PLACA DE SOPORTE SUPERIOR	50
FIGURA 25. PÓRTICO PRINCIPAL DE LA MÁQUINA DE ADOBES	52
FIGURA 26. ESTRUCTURA BÁSICA DE UN PLC.....	57
FIGURA 27. ESQUEMATIZACIÓN DE ENTRADAS DE LA MÁQUINA SEGÚN SU PROGRAMACIÓN.....	59
FIGURA 28: ESQUEMATIZACIÓN DE ENTRADAS DE LA MÁQUINA CON SUS BOTONES DE SECUENCIA MANUAL Y AUTOMÁTICA	60
FIGURA 29 : DIAGRAMA DE COMPONENTES DE PISTONES TIE-ROD PRINCE.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 30: DIAGRAMA DEL PISTÓN DOSIFICADOR.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 31: DIAGRAMA DEL PISTÓN DE COMPACTACIÓN Y EXTRACCIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS GENERALES PARA UN ADOBE DE CONSTRUCCIÓN	21
TABLA 2. SECUENCIA POR TIEMPOS DE FUNCIONAMIENTO Y ACCIONAMIENTO DE LOS 3 PISTONES.....	26
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DE BOMBA HIDRÁULICA PARA MÁQUINA DE ADOBES	39
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS 3 PISTONES	40
TABLA 5: ESPECIFICACIONES DEL PISTÓN DOSIFICADOR	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 5: ESPECIFICACIONES DEL PISTÓN DE COMPACTACIÓN Y EXTRACCIÓNN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Diseño de una máquina productora de adobes en serie

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

La tierra como material de construcción ha sido utilizada durante siglos, las primeras construcciones se remontan a la era antes de cristo. Así el uso del adobe o “pieza de arcilla con arena” en la construcción arquitectónica (Bardou; 1979: 11) coincide con las históricas edificaciones que hasta hoy son recordadas, por ejemplo: el templo de la muerte de Ramsés II, en Egipto, el cual fue construido con tabiques de adobe, hace 3200 años; y, la pirámide del Sol en Teotihuacan, la cual tiene un núcleo de 2 millones de toneladas de adobe.

La resistencia del adobe es tal que las edificaciones construidas con este material han sobrevivido a los embates de la naturaleza y al paso del tiempo. Por ejemplo, en los vestigios encontrados y que aun permanecen podemos conocer a las comunidades agrícolas de Mesopotamia que existieron hace mas de 7 mil años antes de la era cristiana.

En la arquitectura moderna ha ganado espacio la construcción con adobe desde el punto de vista estético, pues muchas personas prefieren casas con fachadas y tintes rústicos., pero también por el costo y la resistencia del material. Así, en la ciudad Shibam en Yemen, llamada el “Manhattan” del desierto, se han construido casas de hasta 8 pisos con una altura aproximada de 30 metros, con esto se desafía a cualquier prejuicio existente en contra de construcciones con adobe.

En el Ecuador como en otros países de Latinoamérica la utilización del adobe en la construcción de viviendas, sin embargo, no ha podido masificarse, debido a que cada pieza de este material debe ser fabricada manualmente lo que requiere conocer la técnica e invertir mucho tiempo. Así para la edificación de una construcción de entre 150 a 200 metros cuadrados se requieren 14 mil adobes en total. El tiempo de construcción puede variar entre ocho meses a un año y medio y la inversión fluctúa entre 50 mil y 80 mil dólares según los acabados y la disponibilidad de los adobes. Este es quizá uno de los mayores obstáculos que no permiten que los arquitectos, en particular, y las personas, en general, se inclinen por este sistema de construcción.

El problema de tiempo en la fabricación de adobes, así como su calidad y su posterior masificación en la construcción de viviendas puede superarse con una máquina automatizada y, es en este trabajo de tesis que se propone el diseño de una. Se espera que sea tomado en cuenta y aplicado por las empresas o por arquitectos, a fin de posibilitar la producción en serie de las "piezas de arcilla con arena".

La máquina automatizada, como se ha demostrado en la experiencia de muchos arquitectos, es una respuesta que permitirá abaratar costos, mejorar la calidad de las viviendas y optimar el tiempo en la construcción. Con lo cual, personas de bajos recursos económicos podrían acceder a este material para construir sus viviendas. Como lo manifiesta el arquitecto Echeverría "para la gente más pobre, esta es casi su única opción por su bajo costo".

Se puede afirmar, entonces que el diseño de la máquina para la fabricación en serie de adobes es una respuesta para disminuir: el tiempo, el costo, el riesgo de destrucción y aumentar la calidad y resistencia del adobe, sobre todo del que será utilizada para la construcción de viviendas.

1.3 Objetivos del presente proyecto

1.3.1 Objetivo Final del proyecto

Diseño de una máquina para la producción en serie de adobes, con alto rendimiento y secado en menor tiempo por unidad, lo que significará ahorro de tiempo y de dinero.

1.3.2 Objetivos Específicos del Proyecto

- Diseñar una máquina que garantice la fuerza de compresión suficiente, que logre una compactación ideal en las piezas de adobe.
- Diseñar un sistema de control que permita automatizar la máquina, permitiendo que esta sea fácil de operar, y que produzca adobes con todas las propiedades necesarias para su inmediato uso en la construcción.

1.4 Organización del documento

La primera parte del documento describe al adobe, su composición y método de fabricación. En el capítulo 2, se desarrolla el marco teórico, en el cual se narra uso del adobe a lo largo de la historia y se analizan a profundidad las características, los materiales y los porcentajes necesarios para la elaboración de adobes con alta calidad y resistencia.

El capítulo 3 presenta los parámetros de diseño y la metodología aplicada para determinar como fabricar adobes de forma industrial. En el capítulo 4 se elabora un esquema de diseño de la máquina, a partir de varias experimentaciones que permitieron determinar sus características para fabricar cada pieza de adobe con compactación y calidad óptima para la construcción de viviendas.

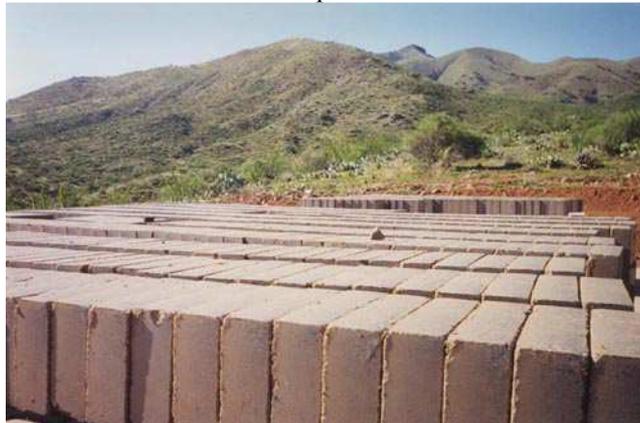
El capítulo 5 contiene el diseño hidráulico y define los pistones a utilizar para que la bomba proporcione la cantidad de aceite hidráulico para una producción eficiente de adobes. En el capítulo 6 se diseña el bastidor y el molde de manera que estos contengan a los pistones y que la estructura de la máquina sea sólida y segura. Finalmente se dedica el capítulo 7 al sistema de control que describe el control lógico de programación (PLC) y las secuencias lógicas que el programa requiere.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Definición y composición del adobe

El adobe es un material compuesto sin cocer utilizado principalmente para la construcción. Se forma a partir de la mezcla de dos materiales: la arena y la arcilla más aglutinante y agua. El primero, es un conjunto de partículas compuestas por pedazos diminutos y desintegrados de rocas que varían su tamaño entre 0.063mm y 2mm, mientras la arcilla cuenta con partículas muy pequeñas con un diámetro que no excede los 0.002mm teniendo como característica principal una superficie lisa, y que además es producto de la descomposición de la rocas. La figura 1 muestra adobes una vez que son fabricados manualmente para usarlos en una construcción al norte de México.

Figura 1. Adobes fabricados manualmente para ser usados en construcción de casas



Fuente: www.dmladobes.com

El porcentaje y la relación de arcilla-arena del suelo es de gran importancia para el adobe debido a que, si no hay suficiente arcilla en la mezcla no se conseguirá la cohesión necesaria de todas las partículas para soportar las acciones a las que estará sometido, y se desmoronará. Por el contrario, si no hay suficiente arena, el adobe se fisura por retracción de la arcilla durante el proceso de curado.

El aglutinante es de fibra orgánica ya sea paja, crin de caballo o heno seco y sirve para fortalecer el adobe. Cualquiera que fuese la fibra, el objetivo de esta, es limitar las variaciones de volumen que se producen en el adobe durante el proceso de retracción que ocurre en la etapa de secado. Es decir, evita que el adobe se fisure en exceso durante esta etapa. No obstante, la mayoría de las fibras orgánicas tienen las desventajas de tener que ser picadas en trozos pequeños para poder ser mezcladas en la masa de arena, arcilla y agua que luego conformarán el adobe.

Figura 2. Adobes fabricados con paja.



Fuente: www.dmladobes.com

La figura 2 ilustra como se añade aglutinante entre la arcilla y la arena. En este caso la paja es utilizada para que de más fijación al adobe y que este no sufra cambios en su tamaño una vez que se haya secado.

2.2 Historia del uso del adobe en la construcción

La construcción con adobe surgió como una opción de apoyo a la construcción con tierra arcillosa o tapial. Trabajar con piezas previamente fabricadas a mano brindó muchas ventajas, entre otras podemos anotar: precisión, ergonomía y calidad a todos los proyectos arquitectónicos.

Antes de la creación del adobe, las edificaciones de los muros se levantaban con tierra húmeda entre unos maderos o tablas formando así un encofrado, similar a una formación de hormigón en masas, para posteriormente apisonar (compactar) la tierra mediante un pisón o apisonador. Este método de construcción fue muy popular, pero demandaba de mucho esfuerzo físico y precisión. Razón por la que fabricar previamente bloques compuestos de arcilla y arena formando así el adobe, resultaba mucho más fácil para el levantamiento de muros. De esta manera se precisaba más cada una de las estructuras a utilizar en las edificaciones. Los tamaños de los adobes resultaban mucho más manejable y fáciles de entablar uno junto al otro.

La construcción con adobe fue desplazando poco a poco al tapial sobretodo en ciertas construcciones en las que era imposible llegar a un lugar muy alto, así únicamente para la parte baja de la casa se usaba la técnica de tapial, debido a la dificultad de subir la tierra a cierta altura, resolviéndose los muros de los pisos superiores con adobe.

La sustitución de tapias por adobes inició hace 9000 años A.C, cuando se reconoce la seguridad y facilidad de construir con adobe en muchas partes del mundo. En países de todos los continentes ya se construía con adobe como por ejemplo, en Turkestan al sureste de Kazajistán se encontraron casas de adobe del periodo de 8000-6000 A. C. Parte del templo de la muerte de Ramsés II en Egipto, como se mencionó, fue construido con adobe, hace 3200 años(Bardou; 1979: 78).

2.3 Fabricación del adobe en la actualidad

Hoy en día existen diferentes criterios de expertos en la construcción con adobe. A la hora de sugerir los porcentajes de arena, arcilla, fibra y agua para la mezcla ideal para un

adobe, existen varias propuestas que han sido recogidas en libros o están en la mente de arquitectos quienes han tenido experiencia con el adobe durante décadas.

El porcentaje de arcilla, arena, fibra y agua dependerá mucho de: las propiedades del piso; del objeto que se quiere construir; y de su tamaño. Así por ejemplo, especialistas, de distintos países de Sur América en construcción con adobes citan lo siguiente: 20 % de arcilla y 80 % de arena (Velez; 2000: 18) para la construcción de casas de adobe en el norte de Venezuela. En Perú, es frecuente utilizar suelos que contengan entre un 55 y un 75% de arena, y entre un 45 y un 25% de arcilla. En México, por el tipo de suelo se aconseja que la mezcla contenga entre 50 y 70% de arena, y entre 40 y 30% de arcilla. Del mismo modo, en Chile, sugieren emplear suelos con un contenido de granos finos de arcilla entre 35 y 45%, y un contenido de arena entre el 55 y el 65% (Barrios et. Al; 1987: 43).

Sobre el porcentaje de arena que debe ser agregada, Barrios (1987: 45) plantea que “ (...) para establecer un rango se toma como nivel mínimo de arena aquél en que las fisuras, producto de la absorción de agua capilar, ya no aparezcan o sean de escasa ocurrencia y magnitud y, como nivel máximo, aquél en que se inicia la caída de resistencia a flexo tracción, el que satisface las condiciones deseables de mantener la resistencia a compresión alta y no permitir una excesiva velocidad de ascenso de humedad capilar”. Es por esto que este arquitecto establece que el porcentaje de arena debe ser entre los niveles 55 y 65%, y no más que eso.

Con el paso de los años, la forma de fabricar manualmente adobes se ha depurado, pero siempre se ha mantenido el principio de colocar en moldes la mezcla de arcilla-arena, agua y aglutinante. Los moldes son conocidos con algunos nombres: gradillas o tablonés,

que son fabricados con madera y en ocasiones con metal. En estos se compacta la mezcla a mano y con utensilios diferentes como apisonadores.

Posteriormente, se deja secar el adobe en algún lugar intentando evitar la humedad, el excesivo calor o frío, para tener un curado o secado muy constante y evitar las fisuras en la pieza. El tiempo que se los deja secar puede ser de cuatro a seis semanas, dependiendo de las características climáticas del lugar, de la calidad del adobe que se requiera para la construcción en la cual se lo utilizará.

3. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ADOBES

La construcción de una máquina para la producción de adobes diseñados para la construcción es una urgencia en el Ecuador, pero esta tiene que producir una cantidad de adobes que supere la actual producción manual. Definir un número finito de adobes por hora resulta de provecho para los arquitectos a la hora de planificar la ejecución de las obras a su cargo. Al consultar a un grupo representativo de arquitectos, coincidieron en opinar que sería beneficioso para la industria de la construcción, en el Ecuador, contar con una máquina automática, y que esta debería producir alrededor de 180 adobes por hora, como mínimo.

En el Ecuador, el adobe ha sido recuperado como material base para la construcción de viviendas, en especial en el cantón Cotacachi y en distintas parroquias de la provincia de Pichincha, por nombrar algunos lugares.

Los costos de materiales y tiempos de construcción son vitales hoy en día por lo que se ha investigado a fondo con propietarios de casas de adobe, contrastando sus conocimientos con las opiniones, necesidades y experiencia de los arquitectos que fabrican adobes combinando técnicas relativamente nuevas con antiguas.

Muchas son las demandas, identificadas para la construcción con adobe, pues se necesita que este sea ergonómico para poder trabajar con seguridad y comodidad; pero sobre todas las cosas que este tenga un costo asequible y saque ventaja sobre el resto de materiales que se utilizan o se podrían utilizar en la construcción. Es por este motivo que la investigación sobre el proceso de fabricación del adobe se la realizó con base en la revisión

bibliográfica y en entrevistas a profundidad a usuarios del adobe para la construcción de viviendas. Esto ha permitido obtener resultados y conclusiones concisas y sobretodo claras, en relación a la proporción de arcilla, arena, fibra y agua que debe contener una mezcla para obtener un adobe de máxima calidad por la resistencia al tiempo y al peso de la estructura que soportará.

Las entrevistas y las encuestas, así como las visitas fueron necesarias para analizar en detalle las características de la construcción de cada una de las casas de adobe, desde el punto de vista arquitectónico y de ingeniería. De esta manera se pudo, en un primer momento, analizar las similitudes y diferencias de las construcción. A partir de esta información se formuló la siguiente hipótesis: las dimensiones del adobe esto es largo, ancho y altura responden al tipo y tamaño de la construcción.

La gran mayoría de propietarios de las casas coinciden con señalar tres factores positivos de utilizar el adobe: 1) la construcción con adobe es mas económica que con muchos otros materiales; 2) estéticamente es muy atractiva; y 3) que el adobe es un material que proporciona seguridad, confort y propiedades térmicas.

Muchos propietarios se quejaron por el tiempo que les tomó la construcción de sus casas por utilizar el adobe. Así afirman: “para hacer los adobes se necesita de mucha paciencia y mano de obra, pues se necesita fabricarlos con moldes, y a parte que mucha gente tiene que estar apisonando, luego toca esperar mas de 40 días para que el material este listo y seguir la construcción de la casa” (Giovanni Altamirano, propietario de una casa, ubicada en el sector de Conocoto, y construida con adobe, la cual habita con su familia conformada por 6 personas).

Los arquitectos, por su parte, tienen muy en cuenta que uno de los obstáculos por los cuales la construcción con adobe no se sigue expandiendo en el país, es por el tiempo que este material necesita para su curado, lo que incide en el tiempo total de construcción de las viviendas. En cuanto a costos ellos saben que muchas familias prefieren esperar el tiempo que conlleva la fabricación del material y su secado, ya que el costo de construcción de las viviendas es mucho más bajo que con otros materiales. Entre arquitectos ecuatorianos con conocimientos y cursos especializados en la construcción con adobe, podemos nombrar: Jorge Echeverría, Marcelo Peñafiel, Sergio Cruz, Marcelino Castro entre otros.

El arquitecto Jorge Echeverría realizó su especialidad en adobe. Cuenta con mucha experiencia en este sistema de construcción. Sus opiniones más representativas y descriptivas que ayudan a comprender un poco más como se realiza la construcción con adobes en el Ecuador (La entrevista completa con el arquitecto Echeverría y otros arquitectos se encuentran en el anexo C).

¿Cuáles son las razones por las cuales usted usa el adobe?

Son muchas las razones: economía, bienestar, confort estético y visual. Las casas de adobe tienen propiedades acústicas y térmicas excelentes. Estas las hacen ideales para zonas de clima severo y grandes variaciones de temperatura. Para la gente más pobre, esta es casi su única opción por su bajo costo.

¿Podría describir como se hace el adobe en el Ecuador?

Se lo produce manualmente. Se vierte la mezcla específica de arcilla-arena y sus aglutinantes en moldes de madera, para posteriormente compactar la mezcla con pisones.

¿Cuál es la medida física del adobe que se usa en la construcción?

Con la técnica que yo uso se fabrican adobes con una medida de 40cm de largo, 20cm de ancho y 10cm de altura.

¿Qué cantidad (número) de adobes utiliza por cada metro cuadrado de construcción?

Se utilizan generalmente 7 adobes.

¿Cuál es el precio unitario del adobe en el Ecuador?

Alrededor de \$0,12 (dólares estadounidense).

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la construcción con adobe?

Las ventajas son : tener paz, armonía, silencio, calidez, he sentido en carne propia un confort y bienestar que lo he trasmitido a mis clientes. Una desventaja es que para construir más de tres pisos es necesario paredes de mínimo 1.5 metros de ancho. Otra ventaja es que como mencioné, el costo y las comodidades que brinda el adobe además de ser un sistema de construcción que utiliza materia prima sustentable, este contamina mínimamente el medio ambiente.

¿Compraría adobes fabricados con métodos industriales?

Siempre que garantice que las propiedades del adobe sean iguales o mejores a las que presenta un adobe realizado manualmente.

¿Le interesaría una máquina que fabrique adobe automáticamente, y que reemplace los métodos tradicionales?

Sí, sería muy interesante.

¿Cuántos adobes por día necesitaría producir la máquina para ser eficiente?

Entre 800 y 1000 adobes por día.

¿Considera que la construcción con adobe a incrementado?

Sí

¿Cuál es el costo de construcción de una casa de adobe?

Esto depende del tamaño de la vivienda. Aproximadamente va entre \$210 y \$230 (dólares estadounidenses) el metro cuadrado con buenos acabados. La casa más grande que he hecho es de 200 metros cuadrados. Casas de dos pisos cuyo precio es de 45 mil dólares. El tiempo de entrega es de ocho meses.

¿Qué nos puede mencionar sobre los sistemas antisísmicos, y el uso del adobe?

El código ecuatoriano de construcción garantiza que las casas pueden soportar movimientos de hasta siete grados escala Richter, todos los estudios se enfocan en esto y en cualquier tipo de construcción. Cabe destacar que en el Ecuador no existe un código de construcción para adobe como ya lo mencione, en cambio en Colombia y Perú si lo hay. En el país no existen cursos para este tipo de construcción.

Por otra parte el Municipio de Quito ya no tiene ninguna objeción a estas viviendas, para esto contraté a dos especialistas en este tipo de construcciones, ingenieros que sabían

más que yo y que trabajaban en el FONSAI, ellos hicieron los cálculos respectivos, especificaron y comprobaron el sistema y los resultados los presentamos en el Municipio, ahora ellos ya lo aceptan con más predisposición. Me costó mucho vencer el miedo y la idiosincrasia de la gente, pero este tipo de viviendas es una cosa estudiada y profesional.

¿El código ecuatoriano de construcción, que dice sobre la construcción de este sistema?

Nada, no existe ninguna norma para la construcción en el Ecuador. Si existen en otros países, algunos códigos y ciertas bases para el tema de reconstrucción y remodelación de casas de adobe. Yo me acojo y trabajo con los códigos y normativa Californiana.

¿En que consiste este sistema de construcción?

El sistema que aplico no es mío, nace en Guatemala y consiste en hacer unos anillos de hormigón amarrados a las paredes, es decir son mallas con refuerzos comprimidos, este es parte de la técnica antisísmica, así lo calificó el Municipio de Quito.

¿Cuáles son los porcentajes ideales de la mezcla arcilla-arena en el Ecuador? Depende del sitio.

¿Qué cantidad o porcentaje de agua se debe añadir? ¿Existe algún tamaño ideal para el adobe?

Depende de la tierra siempre lo más húmedo es lo mejor.

¿Cómo analiza la demanda e interés de este tipo de construcción en el futuro?

Es necesario que se aplique este sistema y técnica de construcción de manera

profesional con gente que sepa. Creo que la gente va a seguir teniendo confianza en este novedoso sistema. Va a tener mucho futuro, porque en costos son más convenientes.

3.1 Demanda de una máquina automatizada para la construcción de adobes

Todos los arquitectos ecuatorianos son concientes de que si existiera una máquina que pudiese hacer adobes en serie, esto sería: “un éxito total, porque no tienes que esperar a reunir albañiles, no necesitas de moldes y tienes mucho menos tiempo de curado entonces no esperas nada y simplemente la construcción podría acabarse con más rapidez”, comenta Sergio Cruz quien lleva más de 15 años dedicado a la construcción con adobe y no solamente en Ecuador sino también en otros países como Chile y Colombia.

Jorge Echeverría, mantiene una idea clara: “las casas de adobe tienen algunas propiedades térmicas y acústicas muy buenas, lo cual las hace ideales para zonas de clima severo y de grandes variaciones de temperatura”. Recalca que, “para la gente más pobre, esta es casi su única opción por su bajo costo”. Además en su portal electrónico cita lo siguiente: “Hace más de 10 años, en el país, hay una corriente ideológica y naturística y yo me identifico con ella, yo buscaba esta alternativa para la construcción de viviendas naturales” (www.casasdeadobe.com).

Al preguntarle a este arquitecto, su opinión sobre la idea de diseñar una máquina que elabore adobes en serie, afirma que sería un gran aporte para desarrollar proyectos gigantes, ya que se contaría con el diseño efectivo y rápido de adobes. El indicó algunas sugerencias para el diseño de la máquina, anotaremos las más relevantes:

- medida física utilizada en el mercado

- compresión adecuada para el adobe de construcción
- determinar el costo referencial unitario del adobe
- aproximar la demanda del adobe en los próximos años
- tiempo de secado

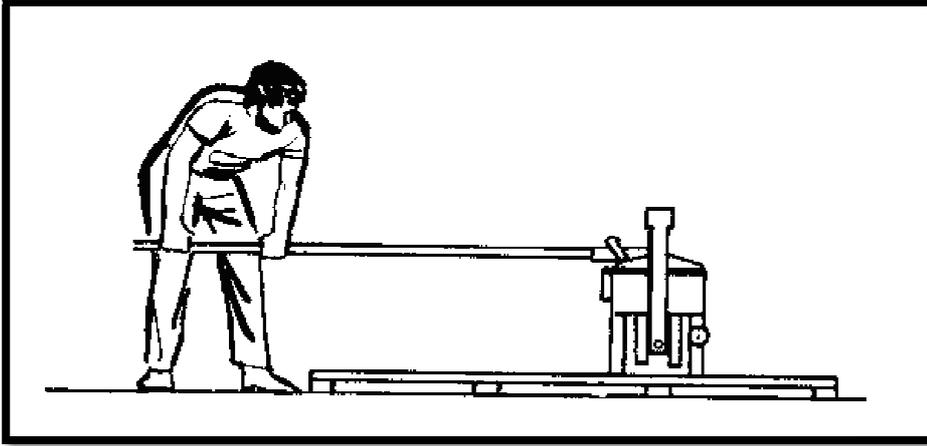
Es evidente que una máquina fabricadora de adobe facilitaría mucho tanto a los arquitectos, como a los propietarios, pues los primeros se verán beneficiados por el tiempo, mientras los segundos por el tiempo y el costo.

3.2 Máquinas de adobe manuales y semi-automáticas existentes

Tanto en Ecuador como en el resto de países sudamericanos es difícil encontrar máquinas productoras de adobes de construcción. Existen ciertos tipos de mecanismos para facilitar la fabricación manual de dicho material, pero no existe información sobre alguna máquina automática.

En países como Colombia existen prensas, capaces de fabricar los bloques de tierra. El principio fundamental de esta prensa es poder agregar ciertas cantidades de arena y arcilla en una caja molde que será presionada con un embolo, al accionar una palanca. Esta máquina tiene como beneficio aminorar el tiempo de fabricación y no tener que apisonar manualmente al adobe, pero de todas maneras el tiempo de espera para el secado de cada bloque es de aproximadamente 28 días. En la figura 3 se observa como se fabrica el adobe de forma manual.

Figura 3. Elaboración manual de adobe



Fuente: www.gracomaq.com

Se prensa el adobe con una palanca de 2 metros con aproximadamente 80 lb de fuerza. Se debe contralar y garantizar que esta fuerza sea constante, lo cual no es fácil y de existir un esfuerzo excesivo, se produce un adobe con imperfecciones. Otra razón por la cual esta máquina no es lo eficiente, es que para fabricar adobe es necesario abrir y cerrar la caja manualmente, lo que conlleva mucho tiempo y molestias para el operario.

Existe otra máquina que utiliza la tecnología para fabricar adobes, consta con un diseño bastante innovador. El fabricante, estadounidense, brinda cierta información en su portal electrónico, pero no existe información sobre el concepto de funcionamiento, sin embargo en la figura 4 a continuación se pueden sacar algunas ideas sobre el modelo de esta máquina.

Figura 4. Máquina semi-automática para la fabricación de adobes



Fuente: www.isorform.com

La máquina, es fabricada en Estados Unidos con un costo de USD 19 000. Produce las piezas de adobe, con mucha rapidez y precisión. La arcilla entra conjuntamente con cierto porcentaje de arena a través de una tolva, que se ubica en la parte más alta de la máquina y que tiene una forma rectangular con una inclinación de 45 grados en la parte posterior para que el material resbale con facilidad.

Tienen un pistón que presiona los materiales orgánicos junto con la arena y arcilla para compactar el bloque. Este pistón es de marca Rexroth. La capacidad de producción máxima de esta máquina es de 200 adobes por hora. La máquina además cuenta con un eje en la base que servir como soporte y permite que la máquina sea fácil de transportar de un lado a otro, pero no cuenta con un espacio ergonómico para recibir cada adobe fabricado lo cual obliga a tener un operario para sacar cada adobe que esta terminado, de lo contrario existiría una colisión entre adobes y se dañarían.

3.3 Parámetros y requerimientos básicos

Como se ha mencionado, la fabricación del adobe puede ser manual o a su vez industrial, pero para que una máquina fabrique piezas de adobe de manera industrial y compense su costo de construcción, se necesita producir como mínimo 180 adobes por cada hora. Así lo confirma la experiencia de muchos arquitectos de Latinoamérica y sobretodo, del Ecuador quienes fueron entrevistados. Es obvio que sí se excede esa cantidad será mucho mejor ya que el adobe sobrante ahorraría horas de trabajo.

Las características de la fabricación automatizada de un adobe deben ser similares o superiores a los producidos por el método convencional. El tiempo de secado no debe excederlos 28 días. Las medidas y el volumen de cada adobe deben ser exactas, se tomar como referencia las medidas con las que se trabaja en la actualidad: 40cm de largo, 20 cm de ancho, 10cm de alto.

La densidad ideal del adobe es de 1600 kg/m^3 , (Bardou; 1979: 12). En Colombia existen prensas de adobe y la compañía que las produce, lleva una estadística de densidad que está en un promedio de 1500 kg/m^3 (www.gracomaq.com), mientras que en los Estados Unidos, una máquina para producir adobes semiautomática trabaja con un rango de densidad de producción del adobe de $1200\text{-}1700 \text{ kg/m}^3$ según varíen las propiedades de la tierra. (www.tiendaslatinas.com, visitado Julio 2009).

Si nos referimos al método tradicional de fabricación de adobe, son necesarios por lo menos 3 semanas de curado para lograr que este tenga las propiedades adecuadas de: volumen, densidad y compactación. Esto debido a que al fabricar manualmente el adobe mediante pisones, se requieren porcentajes elevados de agua, esto es entre el 4 al 5 %. Sí se

fabrica el adobe mediante una máquina compactadora, se requieren porcentajes más bajos de agua, ya que el secado del adobe se produce inmediatamente al retirarlo de la máquina (Gualvan; 2002).

Una tabla con las distintas propiedades y con las características principales, con las que debe contar la máquina, se presenta a continuación. Esta servirá como guía para el diseño de la máquina.

Tabla 1. Parámetros y características generales para un adobe de construcción

Lista de Propiedades	Valor Base	Valor Ideal
Densidad	1500kg/m ³	1600kg/m ³
Resistencia a compresión	35kg/cm ²	75kg/cm ²
Absorción de Agua	3 %	5 %
Retracción al secado	0.2mm/m	1mm/m
Resistencia a terremotos	5 ° escala Richter	7 ° escala Richter

Fuente: Bardou; 1979: 11
Elaborado por: Jarrín Andrés 2009

Los adobes deben ser compactados con una presión específica, la cual responde al tipo de suelo, a las dimensiones y usos de la construcción en la cual van a ser utilizados.

Existen varios estudios realizados en norte, centro y sur América. Estos son cada vez más específicos y elaborados, brindando así la seguridad necesaria para las viviendas. Algunas investigaciones realizadas en el año 2000 muestran resistencias estructurales del adobe cercanas a 35kg/m² (www.invdes.com). Estudios posteriores, demuestran que se puede obtener en un adobe hasta 75kg/m² (www.gmex/tecadobe/htm) de resistencia a la compresión estructural, en este último caso estabilizándolo por cementación. Cada vez, se

busca incrementar estos valores, se trata de garantizar seguridad y blindar las edificaciones frente a todo tipo de acontecimiento o desastre natural. Otra de las ventajas de tener resistencias altas, es que entre mas se compacte el adobe menos aire tendrá en su interior y transferirá mas calor al interior de la construcción.

La compactación debe ser entre las partículas de tierra, estas tienen que juntarse a través de una gran presión hasta el punto de fusionarse entre si formando una sola pieza de adobe. La resistencia de compresión dependerá de la fórmula utilizada en la mezcla de la tierra, es decir, los porcentajes de arcilla y arena, así como las añadiduras o aglutinantes que se aplique a la mezcla del adobe.

Cada pieza de adobe deberá ser lo suficientemente ergonómica para que una persona la pueda manejar con facilidad. Las medidas que se tomarán como referencia son las que se utilizan en su mayoría en el país, como se indicó en páginas anteriores, estas son: entre 40 y 35cm de largo, 20cm de ancho y 10cm de alto. Lo cual significa que se contará con adobes uniformes en tamaño y forma y en calidad.

La materia prima, es decir la arena, la arcilla, el aglutinante y la agua tendrán que mezclarse y fusionarse de inmediato a la compactación, para solo esperar uno o dos días hasta que la materia prima se encuentre completamente sólida. Esto marcará una gran diferencia, si se lo compara con el tiempo de secado en la elaboración manual de adobes, que tarda aproximadamente 15 días, una vez que se los apisona.

4. ESQUEMA DE DISEÑO

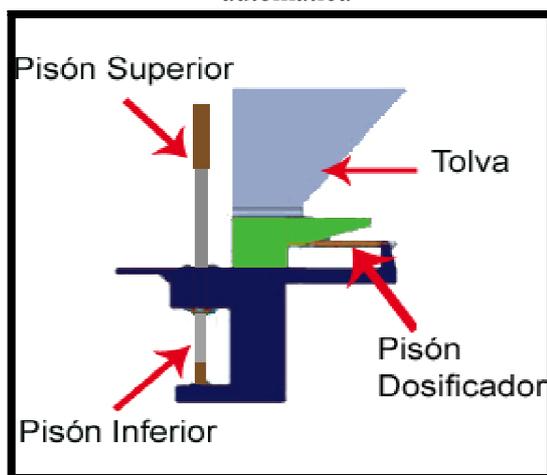
El diseño de la máquina automatizada para producir adobe tiene la finalidad de asegurar: alta calidad arquitectónica (compresión, resistencia, compactación, acústica, térmica); mayor velocidad y cantidad en la fabricación de adobes, en comparación con los métodos convencionales existentes en el Ecuador y en otros países de latinoamérica. Otro objetivo es que la máquina tenga un costo accesible, mayor fuerza de compresión y gran facilidad de operación.

En conclusión el diseño debe asegurar que la máquina sea eficiente es decir, que tenga la capacidad de fabricar al menos 3 adobes cada minuto para poder ser eficiente y así en 8 horas laborales producir al menos 1440 adobes. Con esto se responderá a la demanda de utilizar adobes en construcciones que superen los 500 metros cuadrados o de algunas que por sus acabados demandan un mayor número de adobes para su mampostería.

4.1 Descripción de propuesta de funcionamiento

El primer elemento de la máquina es el depósito de la materia prima, para esto se necesitará un almacenamiento de material con una capacidad volumétrica adecuada. Este almacenamiento o tolva (figura 5), servirá para abastecer constantemente a la máquina de materia prima. Arcilla, arena y su granulometría, así como los aglutinantes como paja u otros.

Figura 5. Diseño de funcionamiento para una máquina que fabrique adobes de manera continua y automática



Elaborado por: Jarrín Andrés 2009

El material será transportado de manera uniforme y continua mediante un pistón dosificador.

El Pisón Superior o gato hidráulico superior, como se observa en la figura 5, tiene la función de ejercer fuerza vertical para compactar el adobe con la presión requerida. Este pistón, es esencial pues de este depende la cohesión de toda la materia prima. Llegará conjuntamente con el pistón inferior igualmente vertical, pero que sujetará a la pieza por su parte inferior, así se asegurará dar la forma y la compresión ideal para fabricar un adobe de alta calidad. Una vez que la tierra está compactada, esta tendrá ya la uniformidad y el aspecto de un adobe. El adobe entonces necesitará ser retirado de la zona donde fue compactado, por lo cual se necesitará una guía para transportar al adobe hacia fuera, permitiendo así continuar con la producción del siguiente adobe.

Los pistones o gatos hidráulicos como fuente mecánica de compresión, son necesarios para proporcionar mayor fuerza de compresión, tener una mayor velocidad de

producción y una operabilidad simple, al posibilitar la producción de piezas de adobe de manera permanente y continua.

4.2 Descripción Detallada de la fabricación de adobe de forma automatizada

4.2.1 Secuencia de Operación

Mediante el uso de un primer gato hidráulico, como se puede ver en la figura 5, llamado pistón dosificador se cumple la función de empuje y guía, es decir la dosificación del material a utilizar. Este se encargará de llevar toda la tierra con su respectiva granulometría y de ser el caso, aglutinantes. La tierra llega, al punto específico, en donde seguidamente un segundo gato hidráulico la compacta. Este segundo gato hidráulico, llamado pistón de compactación desciende verticalmente proporcionando la fuerza de compresión necesaria para la formación de cada adobe. De la misma manera un tercer gato hidráulico, llamado pistón de descarga asciende verticalmente fijando al adobe en su parte inferior, dejando la pieza de adobe lista.

Como se definió en los parámetros de diseño, el promedio de producción para que una máquina de adobes sea rentable es de 180 adobes por hora, por lo que es necesario producir al menos 3 adobes cada minuto. Fabricar un adobe no podría tardar más de 20 segundos. Desde la dosificación de la materia prima hasta su descarga se prevé un tiempo máximo permitido de 20 segundos. Es pertinente realizar una tabla detallando las operaciones que se realizan en cada segundo.

Tabla 2. Secuencia por tiempos de funcionamiento y accionamiento de los 3 pistones

		TIEMPO (Segundos)					
		0-3	3-6	6-10	10-13	13-16	16-19
POSICIONES	Pistón 1 Adentro						
	Pistón 1 Afuera						
	Pistón 2 Adentro						
	Pistón 2 Afuera						
	Pistón 3 Adentro						
	Pistón 3 Afuera						

Elaborado por: Jarrín Andrés 2009

Se identifica en la tabla 2, la secuencia de funcionamiento, que empieza por el pistón(1) dosificador y en la posición denominada adentro. Esto quiere decir que el pistón todavía no se ha movido, por tanto no ha comenzado su carrera. Una vez que este pistón(1) empieza a salir, su carrera comienza, hasta alcanzar su recorrido máximo, llegando a la posición denominada afuera.

Mientras el pistón(1) esta regresando a la posición inicial, el pistón(2) de compactación, empieza su recorrido hacia afuera y llega en el segundo 12 completamente afuera por lo que entendemos que en este momento está comprimiendo la materia prima y fabricando el adobe. El pistón(3) a su vez sale inmediatamente sin esperar que el pistón(2) regrese por completo y compacta a la materia prima por la parte inferior totalizando su recorrido en el segundo 20. Con esta secuencia de operación de la máquina hidráulica se logrará el objetivo de producción: 180 adobes en una hora.

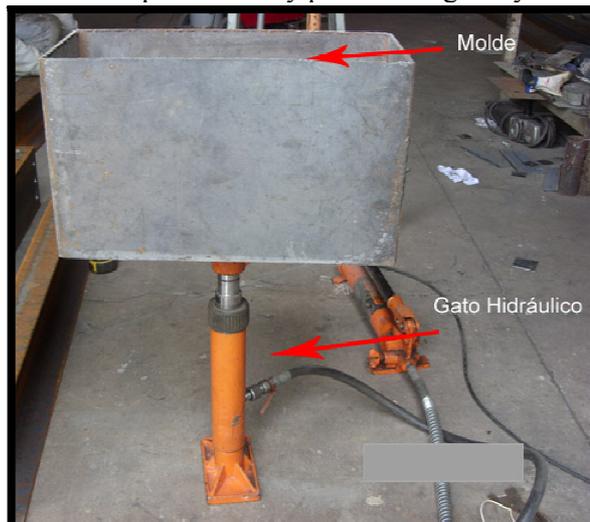
4.3 Descripción de la fuerza de compresión

Las propiedades físicas de una pieza de adobe elaborada por métodos convencionales son varias. La densidad promedio como se comentó previamente ronda los 1200-1700kg/m³. Esta puede variar de acuerdo a las propiedades de la tierra, pero para mayor seguridad de acuerdo a las propiedades del suelo, debe aproximarse al valor más alto. Otro factor importante a tener en cuenta es la resistencia que la pieza de adobe pueda soportar en la edificación, y nuevamente este valor dependerá del tipo de tierra con la que se trabaja, empero muchos estudios e investigaciones confirman que una resistencia a una presión de compresión estructural debe ser como mínimo: 30kg/cm² (Ramirez et. al, 1988, A46). Este valor sería suficiente para disponer de una vivienda segura y habitable.

Con el propósito de constatar la fuerza que el pisón superior debe realizar sobre el material que formará el adobe, se hicieron varias pruebas. Se tomó un molde, donde se depositó tierra con una distribución granulométrica de 65 % de arena y teniendo poco porcentaje de arcilla. Esto debido a que era necesario tener mezclas de piezas de adobe lo más similares a la realidad, para obtener resultados precisos. Estas mezclas fueron analizadas y proporcionadas por arquitectos y constructores que llevan mucho tiempo involucrados en edificaciones con adobe.

Con la materia prima lista, se depositó la misma en un molde fabricado para estos ensayos, con una dimensión de: 40cm de largo, 20cm de ancho y 18cm de alto. El espesor de la plancha con la que se construyó el molde fue de 5/8in.

Figura 6. Gato hidráulico inferior que sostiene y permite asegurar y dar forma a la pieza de adobe



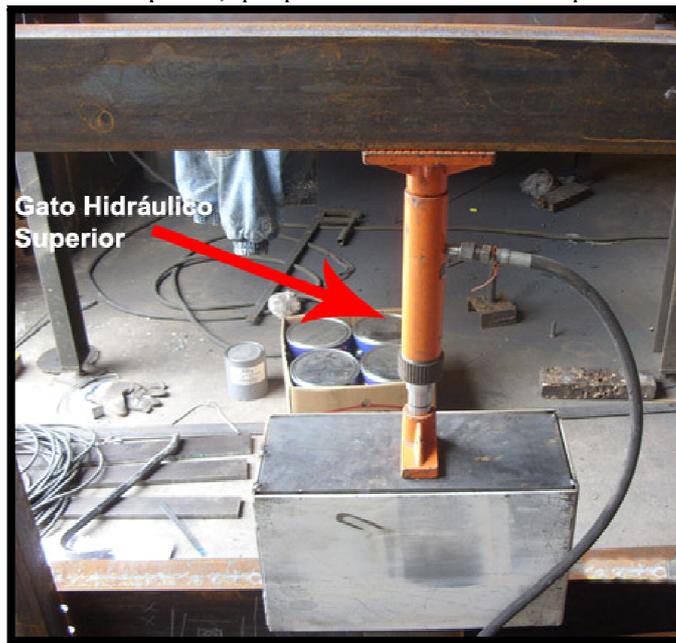
Elaborado por: Jarrín Andrés 2009

El molde fue situado en la parte superior de una pieza denominada gato hidráulico inferior. Este tiene la capacidad de ejercer una fuerza de 8 toneladas como máximo, pero es regulable de acuerdo a la presión ejercida, lo que permite que se puedan realizar ensayos de compresión con fuerzas desde 3 toneladas.

Se colocó una segunda pieza denominada gato hidráulico superior. Este se encuentra encima del molde y está ubicado en el centro exacto de la pieza. Con el molde y los 2 gatos hidráulicos listos y situados en su posición exacta se dio paso al ensayo de compresión.

Al gato hidráulico superior se lo baja iniciando una fuerza y presión progresiva como se observa en la figura 7.

Figura 7. Gato Hidráulico superior, que permite dar las distintas presiones de compactación.



Elaborado por: Jarrín Andrés 2009

Con el gato hidráulico se comprime y compacta la mezcla, durante 15 segundos, a una presión de 3 toneladas de fuerza. Luego (dependiendo la presión ejercida), se retiró el molde para verificar las propiedades de la pieza ya formada de adobe. En esta prueba, la longitud del adobe no varió lo cual era previsto y necesario, lo mismo sucedió con el ancho, pero el alto siendo el dato de mayor interés, si varió. Este se redujo considerablemente en 4 cm lo cual, finalmente otorgó a la pieza de adobe un alto de 14cm, reduciendo así 4 cm de su altura.

El peso volumétrico del adobe es esencial en las edificaciones. Este se lo puede comprobar mediante varios métodos. En esta ocasión se lo comprobó, tomando en cuenta las condiciones que la pieza llega a tener una vez que es usada en una construcción. Bajo métodos convencionales es necesario esperar 15 o más días, en el del presente estudio se lo hizo, después de 2 días de fabricado el adobe.

Después de realizar varias pruebas en las que se cortaron muestras de bloques calibrados de 5 cm de largo, 5 cm de ancho y 5 cm de alto, se constató que la densidad estaba acorde con las demandas de construcción de una vivienda promedio, es decir de 70 a 100 metros cuadrados de construcción. A cada adobe se los peso respectivamente como se observa en la figura 8. Todas las muestras tuvieron un peso uniforme, teniendo como un valor promedio de 202gr.

Figura 8. Peso de una muestra de adobe compactado con gatos hidráulicos



Elaborado por: Jarrín Andrés 2009

Con la muestra estandarizada con un volumen de 125cm^3 y el peso mencionado se cálculo entonces la densidad teniendo un valor de $1616\text{kg}/\text{cm}^3$.

5. DISEÑO HIDRÁULICO

A continuación, con la información obtenida en la revisión bibliográfica y en las entrevistas, se define la presión, la fuerza, el área y la carrera de los pistones para obtener de forma automatizada un adobe con alta calidad técnica. Se realizó un análisis profundo para determinar el diseño de cada pistón, ya que se requiere que cada uno individualmente y en conjunto trabajen con mucha precisión. Es por esto que el diseño de cada pistón se dividirá en secciones, así la **A** para el pistón dosificador (1); la sección **B** para el pistón compactación (2); y la **C** dedicada al pistón descarga (3).

5.1 Diseño hidráulico de los pistones

5.1.A Diseño hidráulico del Pistón Dosificador

A.1 Cálculo de fuerza necesaria

La materia prima para la fabricación del adobe es depositada en un molde que permite llevar la tierra y su granulometría hacia la zona de compactación. El pistón dosificador que guiará la tierra de forma horizontal, tiene que vencer la resistencia que se opone al movimiento. Este rozamiento o fricción es calculada como la sumatoria de la fuerza de fricción que existe entre el molde y el camino guía, más la fuerza de fricción entre la materia prima y el camino guía. La fuerza de rozamiento se calcula de la siguiente manera:

$$F_r = N \times u \quad (5.1)$$

donde:

N = Normal

u = Coeficiente de rozamiento

El pistón dosificador está alineado de forma horizontal, entonces la normal es igual al peso. El peso por cada adobe lo podemos determinar através de su densidad. El peso volumétrico es 1616kg/m^3 . Entonces si su molde tiene un volumen de 8000cm^3 es decir $0,008\text{m}^3$, el peso de cada adobe es de $12,8\text{ kg}$.

Teniendo el valor de la normal, determinaremos ahora el coeficiente de rozamiento. Suponemos que la máquina tendrá que soportar largas jornadas de trabajo, por tanto se utilizará una plancha de acero negro de aproximadamente 10mm de espesor. La estructura que hace de guía son del mismo material por tanto, en este caso los materiales de rozamiento son acero sobre acero. Para nuestro estudio el coeficiente de rozamiento, acero sobre acero es de 0.15 (Larburu, 1999, tabla 7.4). Se debe también escoger el coeficiente de rozamiento estático, pues es mayor que el dinámico. De la misma forma, existe fuerza de rozamiento entre la materia prima y la estructura guía, teniendo un coeficiente de rozamiento estático en seco de 0.4 (Larburu, 1999, tabla 7.4). La fórmula para el cálculo es:

$$F_{rTOTAL} = F_{rTIERRA} + F_{rMOLDE} \quad (5.2)$$

Se obtienen las 2 fuerzas de rozamiento existentes, teniendo como resultado una fuerza total de rozamiento de 7.41 Kg . Además se debe añadir un factor de seguridad considerable en caso de algún problema, ya sea por desgaste o por alguna impureza que pueda obstaculizar la carrera continua del pistón 1. Este factor de seguridad es 2 , con lo cual tendríamos que vencer una fuerza total de rozamiento de 14.82 kg . No obstante se utilizarán rodamientos que permitan que el molde junto con la materia prima se desplacen con mayor facilidad y en menor tiempo.

A.2 Cálculo y definición del área y carrera del Pistón dosificador

Una vez calculada la fuerza necesaria para superar la resistencia al rozamiento, es posible obtener el área mínima necesaria para el pistón. El valor calculado es $0,071 \text{ in}^2$ como se detalla en el anexo B. Para definir el recorrido o carrera del pistón. Para calcularlo se tomó en cuenta que se requiere fabricar un adobe de 20cm de ancho. A este valor se le añade el espesor de la plancha del molde que tiene aproximadamente 10mm. Entonces el recorrido mínimo del pistón debe ser de 22cm.

Una vez obtenidos los valores mínimos, tanto del área como del recorrido del pistón dosificador, se debe buscar en el mercado un pistón con estas características o lo más cercanas posibles. Existen algunas marcas que ofrecen una amplia gama de pistones hidráulicos, entre los que podemos destacar Prince, Redox, Parker. En este caso el catálogo de Prince es muy detallado y ofrece varias opciones de las cuales se escoge el pistón “3000 PSI TIE-ROD DOUBLE ACTING.”(www.princehyd.com).

Figura 9. Pistón dosificador de marca Prince



Fuente: www.princehyd.com

Adicionalmente, se requiere que el pistón tenga un área mínima $0,071 \text{ in}^2$, pero en el mercado el pistón más pequeño que existe tiene un diámetro externo (Bore) de 2.5in, es decir un área de 4.91 in^2 . Por lo cual a pesar de requerirse que la carrera mínima del pistón sea de 22cm, se escoge un pistón con 12in de carrera, lo que es equivalente a 30cm. Esta

deja un espacio o margen por precaución y evita posibles limitaciones en el posterior diseño mecánico de la máquina.

El pistón dosificador de marca Prince (figura 9), consta en catálogos como: 2.5 INCH BORE CYLINDER (Grainger, 2008, 1054), y tiene una presión máxima de trabajo de 3000 psi. El diámetro es de 2.5in, entonces un área: 4.91in^2 , como ya se indicó. La numeración comercial de este pistón es: B250120ABAAA07B.

La fuerza del pistón se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = F/A \quad (5.3)$$

Donde :

P = Presión

F = Fuerza

A = Área

Conocemos ya el área y la presión. Despejando F , tenemos un valor de 14700 lb. Este es un pistón disponible en el mercado, se recomienda su uso ya que la misma marca dispone de los otros pistones necesarios, y por facilidad de mantenimiento y uso es preferible utilizar una sola marca. Las dimensiones y los detalles de cada componente de este pistón se encuentran en el anexo A.

5.1.B Diseño hidráulico del Pistón de Compactación

B.1 Cálculo de fuerza necesaria y definición del área

La construcción con adobe presentó muchas dudas y riesgos después de varias catástrofes ocurridas en algunos continentes. En los países del continente americano han ocurrido muertes por la caída de casas construidas con adobe. En países como Perú y México existe evidencia de lo mencionado y en este último se han evaluado muchas posibilidades para dar mayor resistencia y seguridad a casas construidas con este material. Una de las opciones más aceptadas por varias universidades es la utilización de adobe en la mampostería y edificar la estructura principal con hormigón o hierro. Otra de las opciones que se ha manejado, y en la cual depositan su confianza los constructores y habitantes es la mezcla de arena, arcilla, agua y un porcentaje mínimo de cemento. Con esto se logra un adobe no 100 % natural, pero con una resistencia mayor (Ramirez; 2006: 9).

Comercialmente existe un actuador hidráulico que brindaría la compactación suficiente. El actuador Prince: “3000 PSI TIE-ROD DOUBLE ACTING.” Cuenta con una presión establecida de 3000 psi, el diámetro externo del pistón es de 4 in, teniendo así un área de 12.56 in². Entonces:

$$***F = 3000psi \times 12.5in^2*** \quad (5.4)$$

Esto permitirá tener una fuerza de 37680 lb. Al tener 17 toneladas de fuerza disponibles, es suficiente para compactar la tierra y su granulometría. Si en un futuro a esta mezcla se la combina con otros elementos como el cemento, o algún aglutinante exótico este pistón no tendrá ningún problema en compactarlo.

En la figura 8 se tiene el pistón 2 de marca Prince, el mismo que consta en el catálogos como: “4 INCH BORE CYLINDER” (www.princehyd.com), con la numeración: A400160ABACA07B. Este también cuenta con un recubrimiento para evitar la corrosión. Las dimensiones y los detalles de cada componente de este pistón se encuentran en el anexo A.3.

Figura 10. Pistón De compactación de marca Prince



Fuente: www.princehyd.com

B.3 Definición del recorrido o carrera del pistón de compactación

El recorrido o carrera del pistón debe ser como mínima la altura del molde que lleva el adobe. De los parámetros de diseño, el adobe requiere una altura de 10 cm. A este valor se le añade 10 cm adicionales, pues la relación de compresión debe poder calibrarse a selección del usuario. El espesor de la plancha del molde con la que empuja el pistón 2 deberá ser al menos de 10 mm, entonces el recorrido mínimo del pistón debe ser 22 cm.

Un objetivo del diseño es lograr que la máquina pueda fabricar diferentes dimensiones de adobe con solo cambiar el molde. Como se escogió un pistón con un diámetro exterior de 4 in, se pueden elegir algunas opciones de carrera. Para cambiar

moldes con mayor altura, se debe escoger una carrera de 16 in es decir 40.64 cm y con eso se garantiza la flexibilidad en el cambio de moldes. Adicionalmente el diseño deberá considerar la regulación en la carrera de los pistones, pues con esto se lograría obtener varias relaciones de compresión y diferentes medidas de altura en las piezas de adobe. Por ello debe considerarse la regulación por medio de elementos llamados fines de carrera. Esto se detalla en la sección del sistema de control.

La regulación de carrera se obtiene mediante la instalación de interruptores de fin de carrera calibrados mediante una regleta deslizante. El usuario debe tener acceso al inicio de la operación a fijar los límites de deslizamiento de cada pistón.

5.1.C Diseño hidráulico del Pistón de descarga

C.1 Cálculo y definición de la fuerza y área del pistón de descarga

El pistón 3 estará alineado al pistón 2, por tanto debe tener las mismas especificaciones. Se necesita mantener la misma fuerza y área. Es así que este contará con un área de 12.56 in^2 , y una fuerza de compactación igual a la del pistón de compactación.

C.2 Definición de carrera del Pistón.

En el pistón 2 ya se seleccionó una carrera que garantiza la flexibilidad de cambio de moldes, para producir diferentes adobes. En este caso entonces se escoge 8 in de carrera, que es el valor mínimo existente en el mercado, para un pistón con el diámetro exterior de 4 in. Sin embargo, esta carrera es más que suficiente. En el anexo A.3. se puede ver las propiedades de este pistón.

5.2 Selección de Bomba Hidráulica

Una vez identificados todos los actuadores hidráulicos es necesario encontrar una fuente que provea el fluido requerido para el funcionamiento correcto de los 3 pistones. Para seleccionar esta unidad hidráulica adecuada, se calcula el caudal más desfavorable, es decir la mayor cantidad de caudal necesario en un cierto período de accionamiento de la máquina que fabrica adobes. El pistón de compactación y el pistón de descarga cuentan con un diámetro exterior grande y por tanto el área correspondiente también lo es. Al definir el tiempo de accionamiento de uno de estos dos pistones en la sección 4.2 fijamos los tiempo de funcionamiento. Partiendo de que el pistón de compactación comprimirá la materia prima y terminará su secuencia en 8 segundos, Calculamos con la siguiente ecuación:

$$Q = A \times v \quad (5.5)$$

Donde,

Q = Caudal necesario para empujar el pistón.

A = Area efectiva del pistón 2.

v = velocidad con la que recorre el pistón 2.

Al reemplazar el área de 12.56 in^2 y una velocidad correspondiente a 1.08 in/s pues se requiere recorrer 8.66 in en 8 segundos.

$$Q = 12.5 \text{ in}^2 \times 1.08 \text{ in/s} \quad (5.6)$$

Se obtiene por tanto un caudal correspondiente a 2.9 (GPM). Se escoge la bomba hidráulica capaz de generar 3 (GPM). En el mercado existe la bomba de marca VICKERS

y que brinda 5 HP de potencia (Grainger; 2008: 1016). Con esta se podrá contar con el caudal calculado sin problema. en la siguiente tabla, se muestra las características de la bomba .

Tabla 3: Características de bomba hidráulica para máquina de adobes

Potencia(HP)	GPM	Presión Máxima (psi)	Motor	Modelo	Dimensiones (in) LxWxH		
5	3	2050	3	TK10V-FV02	15	19	26

Elaborado por: Jarrín Andrés 2009

Esta bomba hidráulica entonces será capaz de entregar la presión de trabajo necesaria, pues trabajará con un promedio alrededor de 1500 a 2000 psi. Con los 2050 psi de presión hidráulica que esta bomba es capaz de entregar no habrá requerimientos adicionales de presión, en todo caso la fuerza máxima que el pistón de compactación logrará será de 25748lb y no la total que el pistón de compactación es capaz de entregar, siendo esta suficiente para lograr los objetivos de construcción del adobe planteados.

5.3 Resumen de requerimientos para el funcionamiento adecuado de actuadores hidráulicos

En la siguiente tabla se detallan las especificaciones y las dimensiones requeridas en los 3 pistones que componen la máquina para la fabricación de adobes industriales.

Tabla 4. Características de los 3 pistones

# y Nombre de Pistón	Diámetro de Pistón (in)	Carrera(in)	Presión (psi)	Marca	Modelo
1 (DOSIFICADOR)	2.5	12	3000	Prince	B250120ABAAA07B
2 (COMPACTACION)	4	16	3000	Prince	A400160ABACA07B
3 (DESCARGA)	4	8	3000	Prince	A400080ABACA07B

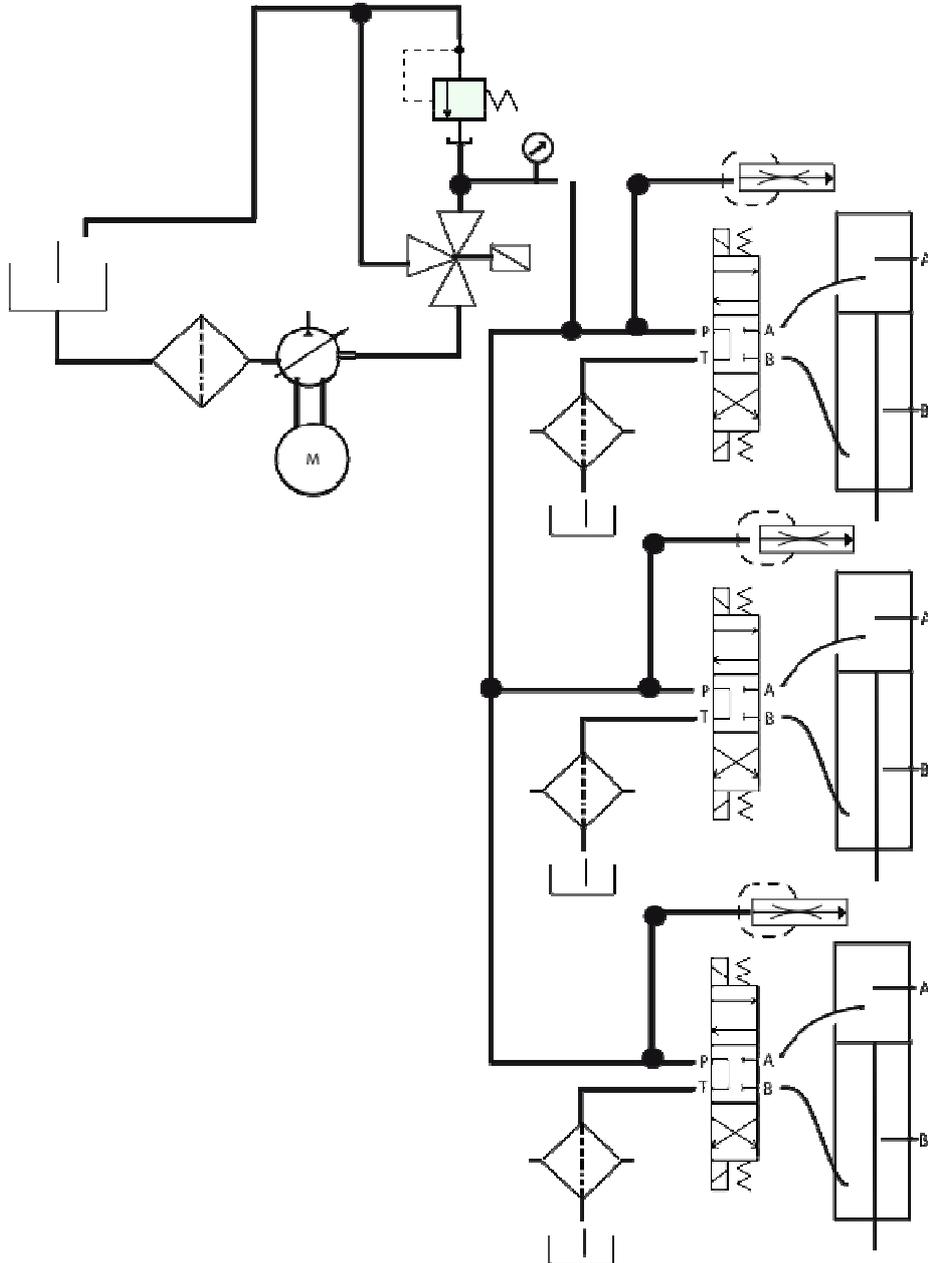
Elaborado por: Jarrín Andrés, 2009

La marca Prince dispone de los pistones necesarios que se requieren emplear, como se justificó anteriormente en el diseño y análisis de cada uno de los actuadores hidráulicos. Es importante aclarar nuevamente que no existen comercialmente pistones con los parámetros requeridos para el tipo de adobe adecuado para la construcción de viviendas en nuestro país. Por este motivo la utilización de un criterio que brinde seguridad y cumpla con lo requerido es de vital importancia.

5.4 Diagrama esquemático del sistema Hidráulico

Se presenta un diagrama esquemático de la relación funcional entre las tuberías, la instrumentación y los componentes de equipos del sistema hidráulico.

Figura 11. Secuencia del sistema hidráulico



Elaborado por Andrés Jarrín, 2009

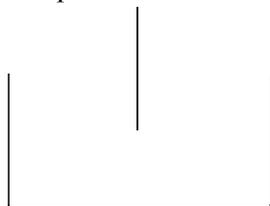
Este diagrama está compuesto de símbolos geométricos que corresponden a sus componentes, controles y sus respectivas conexiones. El pistón dosificador que se encuentra en la parte superior es el primero en actuar, por tanto como se muestra en el diagrama, el fluido llega primeramente a este. Como se observa este fluido es el que permite mover al pistón y una vez que lo logra este regresa a su posición inicial, entonces el fluido regresa al tanque de almacenamiento. Lo mismo ocurre con los pistones 2 y 3. Es necesario recalcar que cada vez que el fluido es regresado al tanque, este pasa previamente por un filtro que elimina las impurezas.

5.5 Representación simbólica y descripción de los elementos que forman el sistema hidráulico

Una representación y explicación de funcionamiento de cada componente utilizado en el sistema hidráulico, se muestra a continuación. Se usa la nomenclatura y la representación esquemática de cada elemento, que especifica la nomenclatura del Colegio de Ingenieros Mecánicos De Pichincha (CIMEPI).

Depósito o recipiente del fluido hidráulico:

Figura 12. Deposito del fluido hidráulico



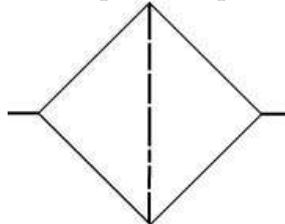
Fuente: CIMEPI: Comp Técnico:2008

La función principal del deposito de fluido hidráulico es almacenar o contener el fluido del

sistema hidráulico. Generalmente este consta de cuatro paredes, en muchos casos son construidas de acero, material que permite que puedan aportar con el enfriamiento del fluido y permitir el asentamiento de ciertas impurezas en su tapa inferior.

Filtro:

Figura 13. Filtro captador de partículas sólidas

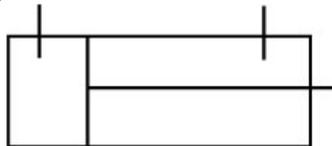


Fuente: CIMEPI: Comp Técnico:2008

El filtro cumple la función de retener partículas sólidas, para evitar que estas penetren y dañen algún componente del sistema hidráulico.

Cilindro de doble efecto:

Figura 14: Cilindro de doble efecto

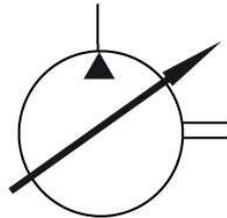


Fuente: CIMEPI: Comp Técnico:2008

Este cilindro permite que la fuerza del fluido pueda ser aplicada al elemento en movimiento en cualquier dirección. Además, el cilindro controla la fuerza del fluido y de esta forma varía la resistencia a la compresión estructural del adobe y posibilita disminuir el tiempo de operación en la fabricación del adobe.

Bomba de caudal variable, no reversible:

Figura 15: Bomba de caudal variable

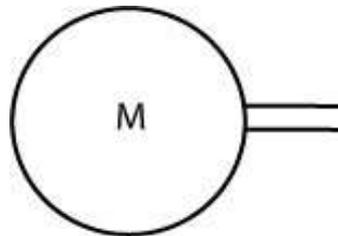


Fuente: CIMEPI: Comp Técnico:2008

Aunque todas las bombas pueden variar su caudal de salida, simplemente cambiando la velocidad de trabajo, se entiende por bombas de caudal variable aquellas que, manteniendo constante el régimen de funcionamiento, pueden cambiar el caudal de salida cambiando la geometría o el volumen de las cámaras de bombeo internas; por ello se llaman bombas de cilindrada variable.

Motor eléctrico:

Figura 16. Motor Eléctrico

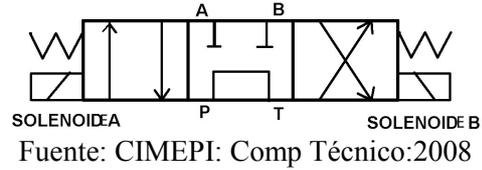


Fuente: CIMEPI: Comp Técnico:2008

El propósito del motor eléctrico es transformar la energía eléctrica en mecánica por medio de interacciones electromagnéticas.

Distribuidor de 3 posiciones y 4 vías:

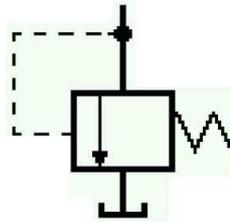
Figura 17. Distribuidor de 3 posiciones y 4 vías



Es una válvula direccional de control de flujo que permite presurizar o evacuar 2 puertos. En nuestro caso los 3 actuadores hidráulicos son cilindros de doble vía, característica que además permite una automatización del sistema mediante el uso de un control lógico programable.

Válvula reguladora de presión:

Figura 18. Válvula reguladora de presión

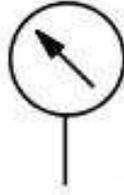


Fuente: CIMEPI: Comp Técnico:2008

Esta válvula se encarga de controlar la presión del fluido, por tanto su función principal es limitar la presión del sistema. El operador tiene opción de fijar la presión de trabajo determinando así el grado de compactación del adobe.

Manómetro:

Figura 19. Manómetro de Presión



Fuente: CIMEPI: Comp Técnico:2008

Instrumento que permite medir la presión del fluido hidráulico.

Conducto:

Figura 20. Conducto: Línea guía por donde fluye el aceite hidráulico



Fuente: CIMEPI: Comp Técnico:2008

Indica la línea por donde el fluido hidráulico circula.

Unión :

Figura 21. Unión: representación de juntas del sistema hidráulico



Fuente: CIMEPI: Comp Técnico:2008

Permite mediante un círculo negro de diámetro mayor al grosor del trazo indicar que en ese punto se conectan o se unen dos o más conductos.

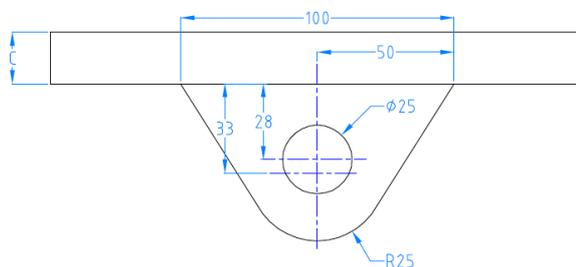
6. DISEÑO MECÁNICO

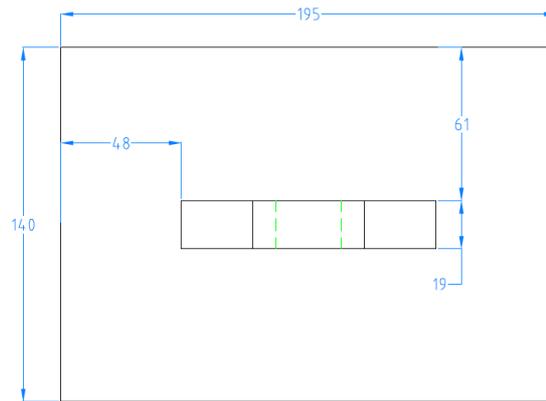
A partir de la revolución industrial, las vigas, placas y planchas se fabricaron en acero, que es un material isótropo, es decir mantiene sus propiedades físicas en todas sus direcciones. El acero tiene la ventaja de ser un material con una relación resistencia-peso superior a la de muchos otros materiales como el hormigón, además de que puede resistir tanto tracciones como compresiones muy elevadas. El acero que se utiliza para la construcción de estructuras metálicas para la construcción de edificios o de obras públicas de gran escala como puentes, se obtiene a través de la laminación de acero en una serie de perfiles normalizados de acuerdo a las Normas Técnicas de Edificación. Este material es utilizado en la estructura para fijar y sujetar los pistones.

6.1 Diseño del Bastidor

La carga de diseño es 25748lb, pues es la fuerza máxima que podría alcanzar el pistón de compactación. Una placa rectangular de acero comercial A36 se diseñó para que soporte con seguridad al pistón y este se posiciona de manera vertical y en la mitad de la placa. Los cálculos para determinar el espesor de la placa, de la figura 22 se detallan a continuación.

Figura 22. Placa de soporte para el pistón de compactación





Elaborado por: Jarrín Andrés, 2009

El momento máximo que se producirá al aplicar toda la fuerza posible del pistón es:

$$M_{max} = P \cdot l / 8 \quad (6.1)$$

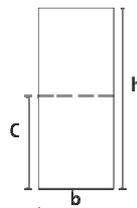
pues la viga esta empotrada con dos apoyos laterales. P es la carga, es decir 25748lb, y por motivos de uniformidad todas las unidades están en el Sistema Internacional, entonces la carga es 11679kg. La longitud l como se ve en la figura 22 es de 0.195m. Por tanto:

$$M_{max} = 28460 \text{ kg} \cdot \text{cm} \quad (6.2)$$

Al ser la placa de geometría rectangular Marx, Shirley y otros autores indican que para estas el momento de inercia es:

$$I = (b \cdot h^3) / 12 \quad (6.3)$$

Figura 23. Momento de inercia para cuerpo rectangular



Fuente: Marx: tabla 47

Como se aprecia en la figura el valor que necesitamos es h . Algunas relaciones son necesarias para obtener este valor final. Se debe especificar que se utiliza una placa de acero ASTM (American Society for testing materials, por sus siglas en inglés) A36. Así, comenzaremos abordando la siguiente ecuación de diseño que especifica Shigley.

$$[\sigma] = S_y / n \quad (6.4)$$

donde:

S_y = resistencia a la fluencia

n = factor de seguridad

entonces,

$$[\sigma] = 2531 \text{ kg/cm}^2 / 2.5 = 1012 \text{ kg/cm}^2 \quad (6.5)$$

La resistencia a la fluencia usamos del acero A36, cuyo valor es proporcionado por el manual del Instituto Americano de construcción con Acero (AISC por sus siglas en inglés).

El factor de seguridad garantiza que la pieza brindará mucha seguridad y confiabilidad.

La relación entre la resistencia a la fluencia, con el momento máximo y el momento de inercia, podemos obtener el espesor, si:

$$S_y = (M_{max} * c) / I \quad (6.6)$$

$$S_y = M_{max} * c / b * 8 * c^2$$

$$c = [12 * M_{max} / 8 * b * S_y]^{1/2}$$

reemplazando con los valores obtenidos anteriormente y con las medidas de la placa tenemos que:

$$c = [12 * 28560 \text{ kgcm}^2 / 8 * 14 \text{ cm} * 1012 \text{ kg/cm}^2]^{1/2}$$

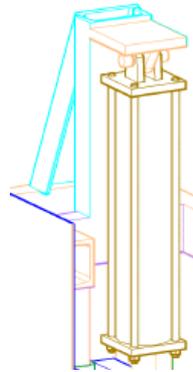
$$c = 1.73$$

y finalmente el espesor es:

$$h = 2 * c = 2 * 1.73 = 3.4 \text{ cm} \quad (6.7)$$

Definida la placa de sujeción del pistón de compactación, se calcula el perfil que sujeta a esta.

Figura 24. Soporte de la placa de soporte superior



Elaborado por: Jarrín Andrés, 2009

De color celeste se observa como se ubica el perfil. A continuación se detalla los cálculos que determinan el área y espesor para que el perfil brinde sujeción y seguridad.

Dado que el pistón está en la mitad de la placa que se diseñó, las reacciones se obtienen al dividir la carga de 25748lb entre 2, así la reacción R_1 es 12874lb.

Cabe señalar que por simetría,

$$R_1 = R_2 = 12874lb = 5839kg \quad (6.8)$$

Usando la teoría de Mc Cormac, del texto “Diseño de estructuras metálicas”, podemos determinar el área adecuada para el perfil de apoyo. Aplicamos la fórmula siguiente:

$$A_{min} = T / 0.60 * F_y \quad (6.9)$$

Donde:

T = Reacción de apoyo

F_y = resistencia a la fluencia del material

El material que se utiliza en el bastidor es el acero ASTM A36 como se indicó.

Aplicando los valores tenemos que:

$$A_{min} = 5859 / 0.60 * 2531 \text{kg/cm}^2 = 3.9 \text{cm}^2 \quad (6.10)$$

Es recomendable de todas formas aplicar un factor de seguridad contenido en la siguiente ecuación :

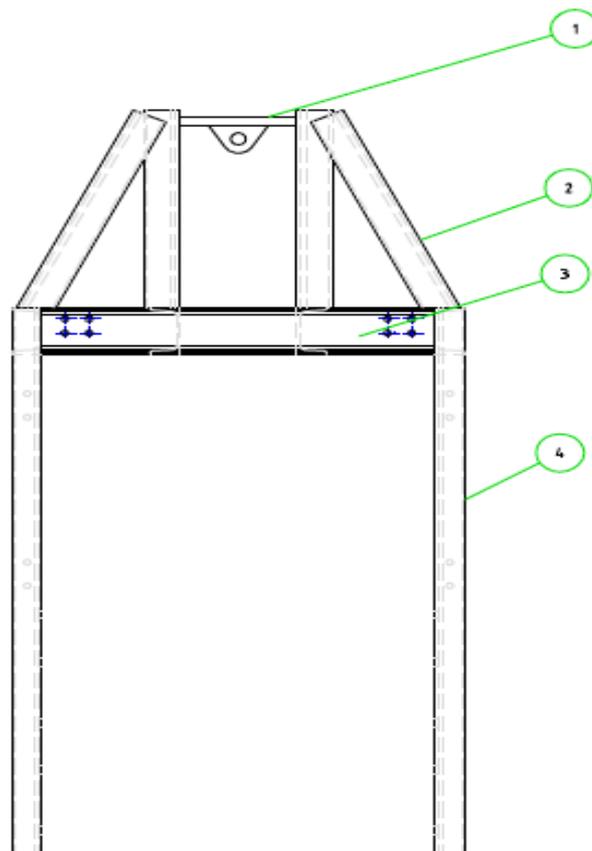
$$A_{diseño} = A_{min} * n$$

Reemplazando los valores:

$$A_{diseño} = 3.9 \text{cm} * 2 = 11.7 \text{cm}^2 \quad (6.11)$$

En el catálogo de DIPAC(empresa dedicada a producción de acero), seleccionamos el perfil laminado con la siguiente nominación: UPN 100. Este tiene un área que garantiza que el perfil soporte la carga máxima. El perfil base del pistón esta identificado con el número 2 en la figura 25, en este se usó un UPN 140, situado diagonalmente para que cumpla con el papel de sujeción.

Figura 25. Pórtico principal de la máquina de adobes



Elaborado por: Jarrín Andrés, 2009

La viga del pórtico identificada con el número 3 lleva un perfil UPN 100, igual a la columna 4 utiliza también un UPN 100. Las medidas, isometría y más detalles se pueden ver en el Anexo D en donde constan todos los planos de la máquina. En este caso todos los detalles del pórtico se encuentran en el Anexo P, dibujo 002.

6.2 Soldadura

Todos los elementos de la estructura serán soldados bajo los parámetros establecidos por la sociedad americana de soldadura (AWS). El electrodo que se utiliza es el 7018, que es compatible con el acero A36. Las máximas fuerzas que la suelda deberá soportar nuevamente son las del pistón de compactación. Si consideramos que la suelda manual de electrodo E70XX, cuya resistencia a la tensión es de 70 ksi, se realiza el

siguiente análisis, para dictaminar si la resistencia del metal de aporte es suficiente. También comprobaremos si la resistencia de la unión es satisfactoria.

Resistencia del metal de aporte:

De la tabla 9-6 (Shigley: 479), la fuerza permisible (F_{perm}) por longitud unitaria para el electrodo E70XX es:

$$F_{perm} = t_f * l \quad (6.12)$$

$$P = 25.74 \text{ kip}$$

$$h = 3/8 \text{ in}$$

$$t_f = 14.85h = 5.5 \text{ kip/in}$$

$$l = 195 \text{ mm} \rightarrow 7.47 \text{ in}$$

donde:

P = fuerza requerida por el problema

h = cateto de soldadura

t_f = fuerza permisible, tabla 9-6

l = longitud del cordón

entonces se obtiene que,

$$F_{perm} = 5.5 * 7.47$$

$$F_{perm} = 40.7 \text{ kip} \quad (6.13)$$

La resistencia del material de aporte satisface pues es mayor a la fuerza requerida por el problema (40.7 kip > 25.47 kip).

Resistencia de la unión:

Primero se verifica el cortante en la unión adyacente a la soldadura. De la tabla 9-4

(Shigley: 478) tenemos:

$$\tau_{perm} = 0.4(S_y) \quad (6.14)$$

y

$$\tau = F/hl \quad (6.14)$$

donde:

S_y = Limite de fluencia

F = fuerza establecida por el problema

h = cateto de la soldadura

l = longitud del cordón

τ_{perm} = Cortante permisible

τ = cortante establecido por el problema

reemplazando estos valores:

$$\tau_{perm} = 0.4 * 36 \text{ kpsi} = 14.4 \text{ kpsi} \quad (6.15)$$

y

$$\tau = 25.7 / (0.37 * 7.47) = 9.29 \text{ kpsi} \quad (6.16)$$

La resistencia de la unión satisface pues el cortante permisible es mayor que el producido por la carga del problema. (14.4 kpsi > 9.29 kpsi).

Ahora se debe considerar el esfuerzo de tensión en el cuerpo de la unión.

$$\sigma_{perm} = 0.6(S_y) \quad (6.17)$$

y

$$\sigma = F/hl \quad (6.18)$$

reemplazando valores:

$$\sigma_{perm} = 0.6(36kpsi) = 21.6 \quad (6.19)$$

$$\sigma = 25.7 / (0.37 * 7.47) = 9.29 \text{ kpsi} \quad (6.20)$$

El esfuerzo de tensión permisible en el cuerpo es mayor que el esfuerzo de tensión por la carga entonces satisface.

Los perfiles que dan el soporte a los pistones, al ser de acero deben cortarse con medios mecánicos a fin de asegurar precisión. Todas las perforaciones deben realizarse antes de los procesos de soldadura, todos los agujeros tienen diámetro nominal y aceptan pernos SAE grado 8, debe cuidarse la exactitud del trazado para asegurar facilidad en el ensamble.

Una vez perforados y preparados los perfiles debe procederse a un ensamble inicial con puntos de soldadura, cuidando en todas las juntas de guardar la perpendicularidad de las mismas. En el bastidor, las placas de refuerzo son los primero elementos, luego los sistemas de apoyo superior e inferior de los cilindros hidráulicos.

Con el bastidor ensamblado, se recomienda la instalación de una línea de centro, utilizando alambre de acero de 0,8 mm templado con pernos en los extremos, las cotas se verifican desde el punto medio hacia las guías para asegurar el correcto movimiento de los pistones.

La cavidad de compresión y el sistema de presión y extracción se arman por separado y se ensamblan en sitio, cuidando con a línea de centros la correcta posición de los mismos, a fin de garantizar la operación del sistema.

Una vez que el bastidor contiene los elementos deslizantes debe hacerse una prueba inicial de funcionamiento en frío, corrigiendo desalineamientos que pudieran ocasionar una traba de los carros deslizantes, el sistema hidráulico no debe encenderse en este punto, hasta que la máquina se encuentre completamente armada.

Si el funcionamiento es correcto se procede a soldar todas las juntas de acuerdo al procedimiento y es el mismo que de fabricación de toda la máquina, es decir a partir de perfiles laminados al caliente ASTM , soldada por proceso de electrodo continuo protegido con CO₂, soldaduras con material de mayor resistencia a la tracción que el material base, electrodo continuo diámetro 0.8mm AWS ER705-6, según AWS A5.18 y ASME 5FA 518, cordones sin interrupción aplicados para mayor penetración y resistencia mecánica, según AISC Complete penetration groove welds, garantizan la continuidad del bastidor, condiciones de amperaje y velocidad de aporte recomendados por AWS (American Welding Society).

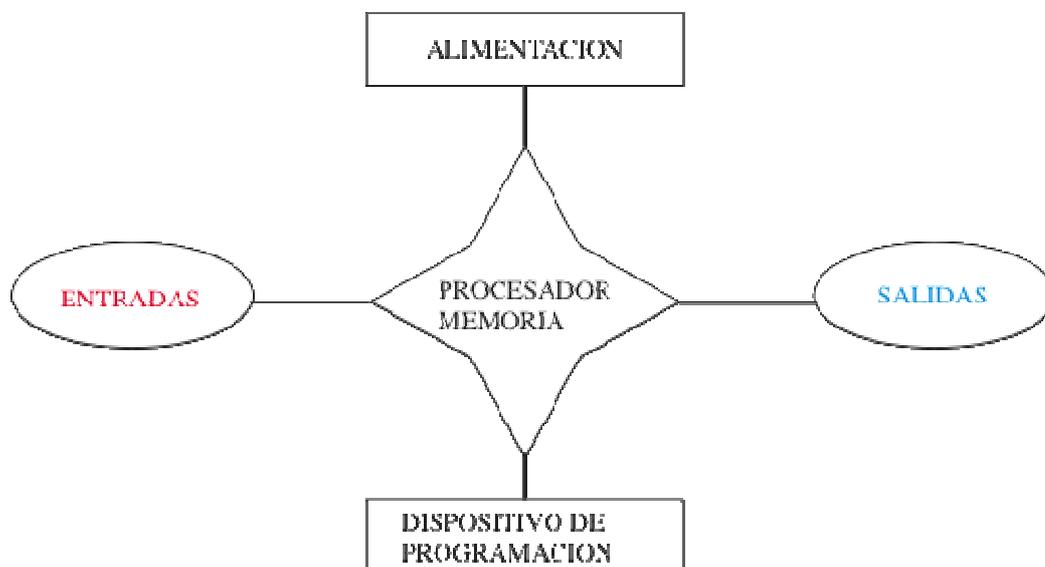
Una vez terminado el proceso de soldadura debe volver a comprobarse la integridad de los sistemas deslizantes que pudieron deformarse por el calentamiento en el proceso de soldadura, debe corregirse desalineamientos y verificar repetidamente el funcionamiento suave del mismo, entonces es tiempo de instalar el sistema hidráulico.

7. SISTEMA DE CONTROL

El sistema debe permitir accionar mecánica y automáticamente todos los movimientos para la fabricación de un adobe. En modo manual el operador puede ajustar las tolerancias del molde, la dosificación de la carga, así como la continuidad del ciclo de trabajo. En modo automático la máquina debe cumplir con todo el ciclo de trabajo.

Para controlar la secuencia de operación de la máquina se utilizará un controlador lógico programable (PLC). Este es un dispositivo utilizado para realizar operaciones con una secuencia lógica. Este identifica las condiciones de entradas, a fin de tomar acciones para las respectivas salidas. El PLC cuenta con una estructura básica, que se ve en el diagrama inferior.

Figura 26. Estructura Básica de un PLC



Fuente: www.techniforum.com

El módulo, fuente de alimentación se encarga de transformar la tensión de alimentación generalmente de 110V o 220V, en 24 V.

El CPU es el archivador y cerebro, que procesa y realiza tareas internas obedeciendo las interfaces de entradas y de acuerdo al programa, ejecuta una acción lógica correspondiente conocida como salida.

Las entradas son dispositivos propios de la máquina que indican posiciones, o acciones del operador. En esta máquina las entradas son los interruptores de fines de carrera y los pulsantes o interruptores que accione el operador. El programa debe accionar las salidas de acuerdo a la secuencia de operación.

Las salidas son la respuestas del sistema a las condiciones de la entradas. En este caso las salidas son las bobinas de las válvulas solenoides, el contactor de arranque de la bomba hidráulica que accionan el movimiento de los pistones, así como las luces de señalización y de alarma por mal funcionamiento.

La máquina, como se explicó en páginas anteriores, tiene 3 pistones. Para facilidad de programación se redefine a estos como Pistón 1 (P1) de compactación, Pistón 2 (P2) de dosificación y Pistón 3 (P3) de extracción.

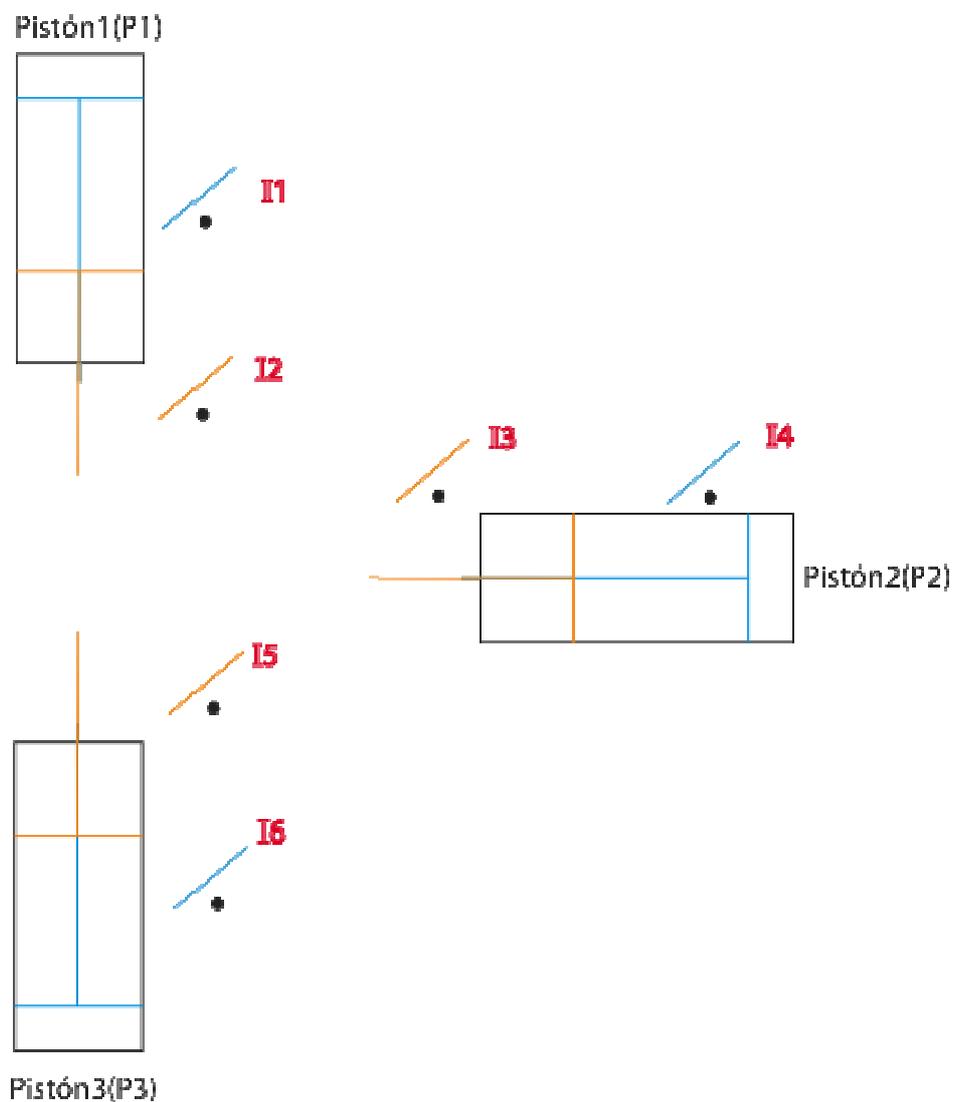
7.1 Definición de entradas del sistema

Cada Pistón realiza una actividad específica, pero los 3 pistones tienen en común que durante el ciclo de la elaboración del adobes, se encuentran extendidos o plegados. Se colocan 2 sensores o interruptores de fin de carrera, por cada pistón. Por lo tanto se tienen 6 entradas. Los pulsantes para accionamiento del operador son necesarios para cada posición de accionamiento, con lo cual se cuenta con otras 6 entradas adicionales. Existe

un interruptor de operación automática o manual, además otros 2 interruptores independientes para encendido y apagado de la bomba hidráulica. En caso de que el sistema falle se ha previsto una entrada de reposición (RESET). La máquina cuenta así con un total de 16 entradas.

Diagrama y Lista de entradas para la secuencia automática y Manual de la máquina de adobes (INPUTS):

Figura 27. Esquematación de entradas de la máquina según su programación

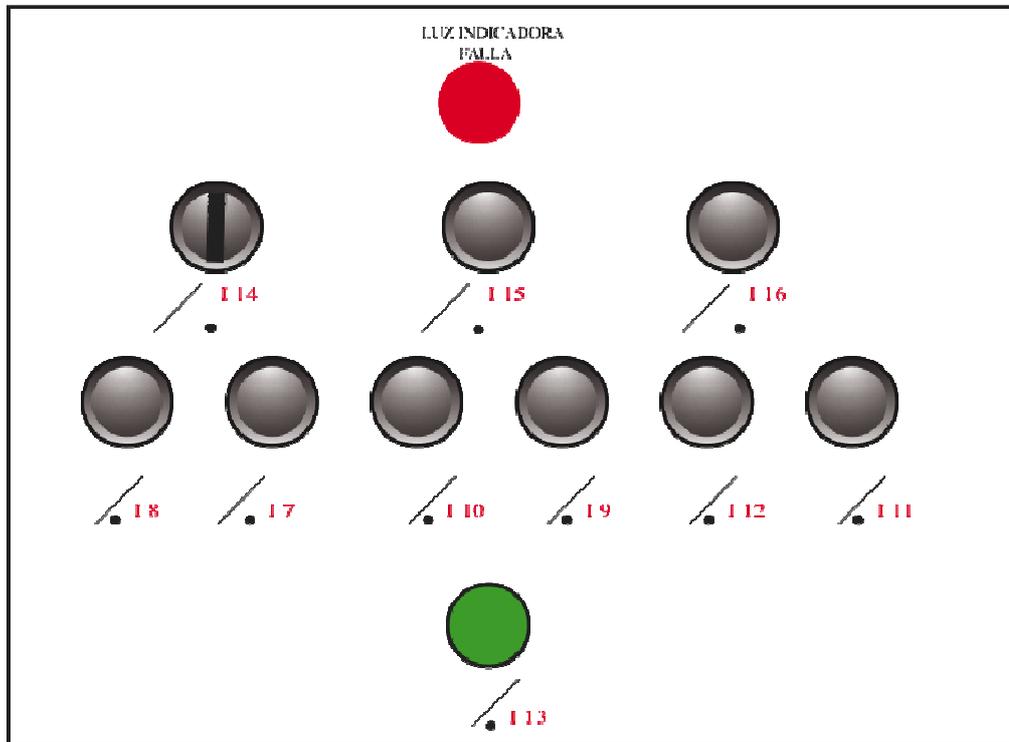


Elaborado por : Jarrín Andrés, 2009

- 1) **I1:** P1 ARRIBA
- 2) **I2:** P1 ABAJO

- 3) **I3**: P2 SALE
- 4) **I4**: P2 ENTRA
- 5) **I5**: P3 ARRIBA
- 6) **I6**: P3 ABAJO

Figura 28: Esquematación de entradas de la máquina con sus botones de secuencia manual y automática



Elaborado por : Jarrín Andrés, 20009

- 7) **I7**: P1 COMPRESION
- 8) **I8**: P1 SUBE
- 9) **I9**: P2 ALIMENTA
- 10) **I10**: P2 RETORNA
- 11) **I11**: P3 EXTRAE
- 12) **I12**: P3 BAJA
- 13) **I13**: RESET
- 14) **I14**: AUTO/MANUAL
- 15) **I15**: BOMBA ON
- 16) **I16**: BOMBA OFF

En el primer diagrama se representa con líneas diagonales los interruptores para los fines de carrera de los 3 pistones, totalizando 6 interruptores con lo cual se tiene 6 entradas. Como se especificó anteriormente cada pistón tendrá 2 posiciones, una adentro o en posición afuera. El segundo diagrama, muestra la posibilidad de activar la máquina

manualmente con lo que el operador podrá verificar el movimiento individual de cada pistón, asegurándose que todo este correcto, y así poder accionar la máquina en su modo automático.

7.2 Definición de salidas del sistema

Con respecto a las salidas del sistema representadas con la letra Q, se tienen 3 válvulas que controlan el movimiento de cada pistón al recibir una señal eléctrica originada por una tensión. Al activarse el bobinado de cada válvula solenoide provocado por el interfaz de entradas, el pistón 1, pistón 2 o pistón 3 realizarán una acción.

Para iniciar el ciclo, la bomba hidráulica es encendida por una señal advertida por su contactor, en este caso se hace referencia a la salida Q7. El operador pulsará un interruptor manualmente para probar el trabajo de los pistones y estos al recibir la interfaz de salida operarán por el efecto mencionado en el párrafo anterior. También se podrá activar el sistema automáticamente.

La lista de salidas se muestra a continuación.

Lista de Salidas (OUTPUT)

- 1) Q1: P1 COMPRIME
- 2) Q2: P1 SUBE
- 3) Q3: P2 ALIMENTA
- 4) Q4: P2 ENTRA
- 5) Q5: P3 EXTRAE
- 6) Q6: P3 RETORNA
- 7) Q7: C1 CONTACTOR BOMBA
- 8) Q8: L1 LUZ DE FALLA
- 9) Q9: L2 LUZ AUTOMATICA(INDICADOR MODO AUTO)

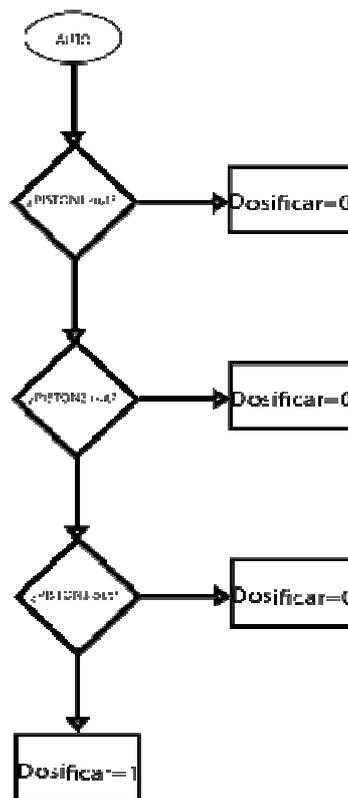
Dentro del mercado existen distintos tipos de Controlador Lógico Programable (PLC, por sus siglas en inglés), pero tomando en cuenta que la máquina cuenta con una

secuencia simple de actividades con sus respectivas entradas y salidas, se escogió un PLC de marca SIEMENS. El modelo correspondiente es el LOGO Soft CONFORT V6.1. Este PLC permite programar mediante un diagrama bloques. Cuenta con la opción de convertir la programación de bloques automáticamente al modo escalera. Las funciones básicas utilizadas en la programación son de fácil comprensión y se detallarán a continuación.

7.3 Algoritmo de control

El algoritmo que define la secuencia lógica que la máquina productora de adobes realiza en cada ciclo, se muestra a continuación.

Figura 29. Algoritmo de control



Elaborado por: Jarrín Andrés

En el algoritmo se puede observar como se inicializa el proceso en donde tienen que cumplirse todas las condiciones de inicio, para que el sistema ejecute su primera operación.

Como veíamos anteriormente la primera acción es dosificar, por tanto correspondería a la salida Q7. El proceso es repetitivo para los 3 pistones y lo único que cambian son las salidas que dependen del pistón que esta ejecutándose.

7.4 Programación FBD (Function Block Diagram)

La programación del sistema se realiza mediante FBD (Function Block Diagram, por sus siglas en inglés). Esta consiste en ordenar bloques y conectarlos unos a otros con un orden lógico deseado. El FBD además permite entender más fácilmente lo que ocurrirá bajo distintas situaciones.

Para ordenar la secuencia lógica de la máquina se usan las constantes digitales de entrada y de salida previamente definidas. El FBD del Logo las define como I_n a las entradas y como Q las salidas. Una vez que se ubican estas, se utilizan las funciones básicas del programa, como el AND, OR, o NOT. Con estas podemos ajustar condiciones, para que regulen el accionar del ciclo. Este es el caso de la función AND, mientras que con el NOT, se permite negar una acción. Esta función es útil, para accionar la máquina de modo manual y automática con un solo interruptor.

Para asegurar las secuencias de los diferentes movimientos de cada pistón se utilizan relés con auto enclavamiento (Latching Relays), los cuales encienden banderas que señalizan las secuencias intermedias del ciclo. Estas se reinician una vez que se ha terminado un ciclo de trabajo.

La seguridad se garantiza con una alarma. Esta se enclava e impide el funcionamiento de los diferentes pistones, en caso de cualquier anomalía en el ciclo.

Para el efecto se utiliza un relé de tiempo con retardo en el encendido y una función lógica que compara el inicio del contador (Timer), con el fin de carrera del pistón correspondiente. Si se enciende el Timer, es decir el tiempo asignado llegó a su fin, y no se ha encendido el final de carrera del pistón, se disparará una alarma auto enclavada que detendrá el ciclo. El diagrama de bloques se especifica en el anexo D con sus respectivas entradas y salidas.

El programa de interfase entre el Logo y el PC permite una simulación del programa de bloques elaborado para simular el funcionamiento del programa y comprobar la correcta secuencia entre pistones y las alarmas instaladas. De esta manera se garantiza que cuando el programa se instale en la máquina este seguirá la secuencia simulada previamente. Utilizando un cable de interfase suministrado por el fabricante es posible transferir el programa al PLC y guardarlo en la memoria del dispositivo. El programa permanece en el PLC, aun cuando existan cortes de energía o se haya desconectado el PC del programa y monitoreo.

Las entradas digitales para operación manual son pulsantes instalados en un tablero de control el cual contiene al PLC. Las entradas se conectan en paralelo con una fase del PLC. Las salidas son contactos SPST (SINGLE POLE, SINGLE THROW), los cuales se conectan a las salidas solenoides en un alambrado que tiene un punto común, fase a todas las solenoides, y el interruptor a otra fase para la activación de las salidas. El diagrama de conexiones se incluye también en el anexo D. Para la aplicación recomendamos utilizar todas las válvulas solenoides a 220V por disponibilidad en el mercado. La fuente de alimentación al PLC permite voltaje múltiples entre 0 y 220V por lo que se utilizan también 220V para las entradas.

El tablero deberá contar con puntos de conexión señalizados tanto para las entradas como para las salidas, los cuales deben estar cableados internamente hacia las entradas y salidas del PLC. Desde la parte final de carrera hacia el tablero es efectivo utilizar cable concéntrico tipo 2 en 1. Estos deben alojarse en tuberías metálicas para protección.

Todas las entradas utilizan contactos NO (Normally Open), que son aquellos que están normalmente abiertos, para efectos de programación. La alimentación de fuerza a la bomba debe contar con un sistema de protección y un contactor que se conecta a la salida correspondiente.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

A partir del presente estudio se identificaron algunas conclusiones significativas, que se detallan a continuación:

- En el diseño de una máquina automatizada para la construcción de adobes se debe tomar en cuenta las características de: forma, tamaño, volumen, resistencia, térmicas y acústicas del adobe que su vez responden a las características del suelo en el cual se va a desarrollar el proyecto arquitectónico sea una: una casa, edificio, monumento.
- Así también, el diseño debe asegurar que la máquina tenga un bajo costo y responda a la demanda del mercado de contar con el mayor número de adobes y en el menor tiempo de fabricación.
- La secuencia lógica automatizada, se garantiza a través del funcionamiento coordinado y eficiente de 3 pistones hidráulicos: uno de compactación, otro de dosificación y el otro de descarga. Lo que asegura que en una hora se fabriquen hasta 180 adobes con características uniformes, cubriendo así las demandas del mercado, tanto de calidad como de cantidad de producción.
- En el diseño de la máquina se debe asegurar que la fuerza de compactación sea la adecuada y se use menos cantidad de agua y, por tanto se reduzca el tiempo de secado del adobe, de 4 a seis semanas (con el sistema de fabricación manual) a 4 días (con el sistema automatizado diseñado en el presente estudio).
- Para el funcionamiento óptimo de la máquina es necesario instalar un controlador lógico programable, que posibilita realizar con exactitud cada movimiento y etapa de todo el proceso de fabricación del adobe. También,

detecta fallas de funcionamiento de uno o más pistones. para así asegurar ciclos correctos en cada jornada de trabajo.

- Con los fines de carrera o sensores que podrán ser reubicados de acuerdo a las necesidades del usuario, se permite que cambie y ajuste las dimensiones de cada adobe según los requerimientos del uso que se dará que dará al adobe.
- Los moldes, es decir las cavidades deben tener una rugosidad superficial en todas sus caras, pues cuando el adobe es completamente liso, el mortero no tiene la misma adherencia, de otro lado el adobe normalmente debe ser recubierto con enlucido y la rugosidad ayuda a la adherencia del recubrimiento.
- Para los actuadores y guías debe considerarse una protección de caucho retráctil que permita aislar el polvo e impurezas y preserve los sellos del sistema hidráulico.

8.2 Recomendaciones

A saber, para con la construcción de la máquina automatizada se recomienda tomar en cuenta:

- En el diseño de la máquina automatizada es importante tomar en cuenta el tiempo de fabricación y de secado del adobe que son unos de los mayores problemas que han tenido que enfrentar los sistemas manuales y mecánicos existentes en el país y en Latinoamérica.
- El diseño debe asegurar que la máquina tenga una estructura liviana y un sistema que permita su fácil transportación.
- Para la instalación hidráulica debe tenerse precaución en el armado de los diferentes elementos cuidando de que ningún material extraño ingrese al sistema

pues puede producir fallas en las válvulas y otros dispositivos que usan agujeros calibrados. Las juntas deben sellarse y ajustarse con cuidado cuidando la integridad de las roscas.

- Para acople de los pistones con la unidad hidráulicas se debe utilizar mangueras que facilitan la instalación y eliminan ruidos por vibraciones propias del funcionamiento de la maquina.

BIBLIOGRAFIA

Aguirre, Paulina. www.invdes.com.mx. 23 de Agosto de 2009
<<http://www.invdes.com.mx/antecedentes/Marzo1999/htm>>.

Altamirano, Gyovanni. Entrevista Personal Andrés Jarrín. 19 de Julio de 2009.

Bardou, Patrick. Arquitecturas de adobe. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1979.

Barrios, Gustavo, et al. Comportamiento de los suelos para la confección de adobes. Madrid, 1987.

«Composición Arcilla.» www.arqhys.com. 19 de mayo de 2009
<www.arqhys.com/arcilla.html>.

Cormac, Jack Mc. Diseño de Estructuras Metálicas. 2005.

«Cotacachi hace casas para gingos.» EL COMERCIO 18 de Julio de 2009: c12.

Echeverría, Jorge. Entrevista personal Andrés Jarrín. 6 de Mayo de 2009.

www.casasadobe.com. 3 de Junio de 2009.

Eugene, Avallone and Theodore Baumeister. Marx. McGraw-Hill, 1998.

García, Enrique. Entrevista personal Andrés Jarrín. 6 de Junio de 2009.

«Grainger.» Grainger Industrial Supply. 2008.

Jose, Galvan. «Resistencia a compresión simple que presenta el adobe elaborado con diferentes suelos.» (2002).

Larburu, Nicola. «Máquina pronturario técnica máquina herramienta .» España, Marzo de 1999.

Ramírez, Sergio. «Máquina compactadora de adobe.» Cuaderno de resultados de investigación (1998).

Sans, Roberto. www.botanical-online.com. 4 de agosto de 2003. 17 de junio de 2009
<www.botanical-online.com/tiposdesuelo.htm>.

Shigley, Joseph, Charles Mischke and Richard Budyna. Mechanical Engineering Design. Wisconsin: Mc Graw Hill, 1999.

Vélez, Jahn. «El increíble silencio de las paredes de barro.» ICVA. I Congreso Virtual de Arquitectura de barro. Caracas, 2000.

www.gracomaq.com. Ed. medellin. 10 de mayo de 2009.

www.princehyd.com. 10 de Octubre de 2009
<<http://www.princehyd.com/Default.aspx?tabid=47>>.

«www.tiendaslatinas.com.» isoforma 300. 12 de Agosto de 2009
<www.tiendaslatinas.com/centrodenegocios/adobe/esp.htm>.

