

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR NEUMÁTICO
PARA COMPACTACIÓN DE SUELO.**

POR :

OCTAVIO CÁRDENAS ESPINOZA

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de :

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre 2004

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**Diseño y Construcción de un Simulador Neumático para Compactación de
Suelo**

Por :

OCTAVIO CARDENAS ESPINOZA

TESIS

**Que Somete a la Consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito Parcial para Obtener el Título de :**

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por el Comité de Tesis

Asesor Principal

M.C. Tomás Gaytán Muñiz

Sinodal

Sinodal

M.C. Juan Arredondo Valdez

Dr. Martín Cadena Zapata

Coordinador de la División de Ingeniería

Ing. Luís E. Ramírez Ramos

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Marzo de 2004**

AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial a Dios, por permitir culminar mi carrera profesional con este proyecto de tesis, y por todo su apoyo y amor que he recibido.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por brindarme la excelente oportunidad de obtener una profesión y otorgarme mucho apoyo como estudiante.

A todo el personal docente de la Universidad, especialmente para el departamento de maquinaria agrícola, por el esmero en la formación de profesionistas y su colaboración en el presente trabajo al M.C. Tomas Gaytán Muñiz, a el Dr. Martín Cadena Zapata, al M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández , al Ing. Juan Arredondo Valdez, al M.C. Héctor Uriel Serna Fernández. y a la Ing. Blanca E. De la Peña Casas.

A el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología, por su apoyo económico en este proyecto de tesis.

A mis compañeros de generación y amigos.

Nadia, Lupita, Miguel A. Márquez, Ángel Mendoza, José M. Gallegos, Juan José, Kennedy Mendoza, Miguel A. Chan, Francisco, Eddi Balan, José Alfredo, , Miguel A. Ramírez, Carlos A. Ramírez, Juan C. Gómez, Orlando, Anacleto, Víctor H. Zetina, Héctor Espejel.

DEDICATORIA

De manera especial a mis padres dedico este proyecto de tesis, por su entrega y apoyo incondicional que me concedieron durante todos mis estudios. Destacando su amor verdadero hacia su hijo Octavio, de la misma manera por su sacrificio y trabajo invaluable que contribuyeron a mi formación como profesionista y como persona.

A mis padres:

Vicente Cárdenas Legorreta y Zenaida Espinoza Nieto

A mis hermanos:

Gonzalo, Noemí, Roció y Mayra Isabel. Por su amor y cariño que me han brindado.

También de manera muy sincera a una persona singular que compartió conmigo muchos momentos de su vida y que aprecio mucho por que es una persona inolvidable.

A la señorita:

Blanca Esther Saucedo Vázquez

INDICE DE CONTENIDO

| | Páginas |
|--|---------|
| AGRADECIMIENTOS..... | III |
| DEDICATORIA. | IV |
| ÍNDICE DE CONTENIDO. | V |
| ÍNDICE DE FIGURAS. | VIII |
| I INTRODUCCIÓN. | 1 |
| 1.1 Antecedentes. | 2 |
| 1.2 Objetivos. | 4 |
| 1.3 Hipótesis. | 4 |
| II REVISIÓN DE LITERATURA. | 5 |
| 2.1 Compactación de suelos..... | 5 |
| 2.1.1 Conceptos y definición..... | 5 |
| 2.1.2 Origen de la compactación..... | 6 |
| 2.1.3 Efectos de la compactación..... | 6 |
| 2.1.4 Medidas correctivas..... | 7 |
| 2.2 Prácticas Para la Evaluación de Compactación de Suelo..... | 8 |
| 2.2.1 Métodos de compactación de laboratorio..... | 8 |
| 2.2.2 Clasificación de los ensayos de compactación..... | 8 |
| 2.2.2.1 Métodos de impacto..... | 8 |
| 2.2.2.2 Métodos de presión..... | 9 |
| 2.2.2.3 Métodos de amasado..... | 10 |
| 2.2.2.4 Métodos de vibración..... | 11 |
| 2.2.2.5 Métodos mixtos..... | 11 |
| 2.2.3 Pruebas de Compactación y equipos..... | 11 |
| 2.2.3.1 Pruebas Proctor Estándar..... | 11 |
| 2.2.3.2 Pruebas Proctor Modificado..... | 12 |

| | Páginas |
|---|---------|
| 2.2.3.3 Pruebas Harvard..... | 14 |
| 2.2.3.4 Pruebas Porter..... | 14 |
| 2.2.3.5 Pruebas California (CBR)..... | 16 |
| 2.2.3.6 Compactador uniaxial..... | 19 |
| 2.3 Fundamentos de Neumática..... | 20 |
| 2.3.1 Conceptos y fundamentos..... | 20 |
| 2.3.2 Propiedades del aire comprimido..... | 21 |
| 2.3.3 Componentes neumáticos..... | 22 |
| 2.3.3.1 Compresores y clasificación | 22 |
| 2.3.3.2 Acumulador de aire comprimido..... | 25 |
| 2.3.3.3 Unidad de mantenimiento..... | 25 |
| 2.3.3.4 Tipos de cilindros..... | 26 |
| 2.4 Principios de Diseño..... | 29 |
| 2.4.1 Descripción y definición..... | 29 |
| 2.4.2 Conocimientos necesarios para el diseño mecánico..... | 29 |
| 2.4.3 Propiedades de los materiales..... | 30 |
| 2.4.4 Propiedades mecánicas de los materiales..... | 30 |
| 2.4.5 Códigos y normas..... | 30 |
| 2.4.6 Factor de seguridad..... | 31 |
| 2.4.7 Fases del diseño..... | 31 |
| 2.4.7.1 Identificación de la necesidad y definición del problema..... | 32 |
| 2.4.7.2 Síntesis análisis y optimización..... | 32 |
| 2.4.7.3 Evaluación y presentación..... | 33 |
| 2.4.8 Consideraciones de diseño..... | 33 |
| 2.4.9 Bases para el diseño de vigas..... | 34 |
| 2.4.10 Limites de flexión recomendables..... | 35 |
| 2.4.11 Sugerencias de diseño para resistir flexión..... | 35 |
| 2.4.12 Ensamblados soldados | 37 |
| 2.4.12.1 Tipos de ensambles | 38 |

| | Páginas |
|---|---------|
| 2.4.12.2 Tamaños de soldadura..... | 38 |
| III MATERIALES Y MÉTODOS..... | 40 |
| .3.1. Metodología del Diseño..... | 40 |
| .3.1.1 Identificación de la necesidad..... | 40 |
| 3.1.2 Definición del problema..... | 40 |
| 3.1.3 Síntesis..... | 41 |
| 3.1.4 Análisis y optimización..... | 43 |
| 3.1.5 Evaluación y presentación..... | 44 |
| 3.2.Construcción..... | 47 |
| 3.2.1Ensamble..... | 52 |
| 3.3 Materiales y Elementos Utilizados..... | 57 |
| 3.4 Herramientas Empleadas para la Construcción..... | 58 |
| 3.5.Costos..... | 59 |
| IV RESULTADOS..... | 60 |
| 4.1 Descripción y Características | 60 |
| 4.1.1 Funcionamiento..... | 60 |
| 4.2 Elementos que Componen el Equipo de Simulación..... | 61 |
| 4.2.1 La estructura..... | 61 |
| 4.2.2 El sistema neumático..... | 63 |
| 4.3 Resultados en los Criterios de Diseño..... | 64 |
| 4.4 Procedimiento de Pruebas..... | 65 |
| 4.4.1 Calculo de la presión requerida por el simulador..... | 66 |
| 4.4.2 Procedimiento para la calibración..... | 66 |
| 4.4.3 Pruebas de compactación..... | 67 |
| V CONCLUSIONES..... | 68 |
| VI LITERATURA CITADA..... | 69 |
| VII APÉNDICE..... | 71 |
| A Cálculos del pistón neumático..... | 72 |
| B Cálculos de diseño..... | 74 |
| C Dibujos de diseño..... | 75 |

INDICE DE FIGURAS

| | Páginas |
|---|---------|
| 2.1 Equipo proctor estándar..... | 12 |
| 2.2 Equipo proctor modificado..... | 13 |
| 2.3 Compactadora mecánica proctor y CBR..... | 13 |
| 2.4 Maquina para ensayos harvard..... | 14 |
| 2.5 Molde porter..... | 15 |
| 2.6 Prensa porter 50 tons..... | 16 |
| 2.7 Prensa para ensaye CBR..... | 18 |
| 2.8 Equipo CBR..... | 18 |
| 2.9 Compactador uniaxial de suelos..... | 19 |
| 3.1 Clasificación de compresores..... | 23 |
| 3.2 Compresor de embolo oscilante..... | 23 |
| 3.3 Unidad de mantenimiento..... | 26 |
| 3.4 Vista interna del cilindro de simple efecto..... | 26 |
| 3.5 Vista interna del cilindro de doble efecto..... | 27 |
| 3.6 Vista exterior del cilindro de simple efecto..... | 27 |
| 3.7 Cilindro de doble efecto..... | 28 |
| 4.1 Fases del diseño | 31 |
| 4.2 Soldadura de chaflán..... | 39 |
| 5.0 Elementos del sistema neumático (diagrama)..... | 44 |
| 5.1 Partes de la estructura que se fabricara..... | 46 |
| 5.2 Corte de la placa con guillotina..... | 48 |
| 5.3 Maquinado de la placa..... | 49 |
| 5.4 Taladrado de orificios en las placas..... | 50 |
| 5.5 Proceso de soldeo de placas..... | 51 |
| 5.6 Ensamble de las partes de la estructura..... | 52 |
| 5.7 Estructura ensamblada y pintada..... | 53 |

| | Páginas |
|--|---------|
| 5.8 Regulador de presión instalado junto a la unidad de mantenimiento..... | 54 |
| 5.9 Preparación de la válvula direccional | 54 |
| 5.10 Manómetro listo para ser montado en la estructura..... | 55 |
| 5.11 Pistón acondicionado para ser instalado en la estructura..... | 56 |
| 6.1 Construcción del equipo terminado con indicación de elementos..... | 62 |
| 6.2 Muestra de suelo lista para compactarse..... | 66 |
| 6.3 Simulación de compactación de muestras de suelo..... | 67 |

INDICE DE CUADROS

| | Páginas |
|---|---------|
| 4.1 Tensiones por esfuerzo de corte en soldaduras a chaflán..... | 37 |
| 4.2 Tamaños mínimos de soldadura en placas de gran tamaño..... | 39 |
| 5.0 Evaluación de modelos propuestos..... | 42 |
| 5.1 Lista de precios de los componentes usados para la construcción | 59 |

I. INTRODUCCIÓN

Desde mucho tiempo atrás han existido problemas de compactación especialmente con la utilización de maquinaria en la agricultura, estos problemas cada vez que pasa el tiempo y no se hace nada por solucionarlos, se agravan cada vez más. Al percatarse de que representa un problema grave para el cultivo y la agricultura en general, se iniciaron investigaciones y desarrollo de prácticas para erradicar este problema,

En la actualidad no ha sido posible eliminar el problema por completo, pero si ha crecido, y ahora es preocupante la situación del suelo en la agricultura, por lo que se han desarrollado equipos para simular la compactación del suelo, y con esto se ha generado investigación fundamental sobre el comportamiento mecánico e hidráulico del suelo bajo la acción de presiones que genera la maquinaria agrícola sobre la superficie del suelo, que por lo cual se han hecho cambios en el uso y diseño de maquinaria agrícola, así como otras prácticas agrícolas aplicadas directamente al suelo dedicadas a combatir la compactación.

En el desarrollo de instrumentaria para simular la compactación de suelo, es sabido que los primeros equipos consistían en aplicar presión a el suelo por medio de tornillos de potencia. Y la presión era medida por un aro de metal que presentaba deformación al aplicarle una fuerza, con esto se obtenía una relación de presión deformación, todo esto se hacia de manera mecánica manual.

Si nos remontamos a nuestros días, podemos darnos cuenta que hay equipos muy sofisticados para la representación de la compactación del suelo, que nos dan resultados confiables y emplean un rango muy amplio de presiones, estos equipos son especialmente utilizados en la ingeniería civil, sin

embargo el principio de simulación es el mismo para cualquier aplicación, (SOILTEST products Division 2001)

El equipo que se diseñó y desarrolló con esta investigación, es enfocado especialmente para la agricultura, ya que no está diseñado para operar con presiones elevadas que generalmente se utilizan en ingeniería civil. La ventaja que se logró en comparación con otros equipos consiste en que las evaluaciones o prácticas se realizan de manera rápida y precisa, al mismo tiempo que se consideró un amplio rango de presiones que podemos encontrar en un suelo agrícola, debido a que el empleo de la energía neumática para su funcionamiento ofrece todas estas características.

El desarrollo de este equipo es de gran importancia y avance en la investigación sobre el tema, además será instrumento para formación de estudiantes, y de equipamiento del laboratorio de fluídica. En el departamento de maquinaria agrícola.

1.1 Antecedentes

Fácilmente se reconoce la necesidad de generar investigación a fin de solucionar los problemas actuales en la agricultura, por esta razón se han desarrollado técnicas y equipos para simular la compactación, los cuales han evolucionado mucho, ya que pasaron de ser manuales y con procedimientos laboriosos a ser automáticos y rápidos, por medio de equipos muy sofisticados y completos, capaces de realizar una gran variedad de mediciones y evaluaciones en el suelo.

A lo largo del tiempo de investigación sobre este tema, se determinaron cinco tipos principales de compactación que son: por impacto, por amasado, por presión, por vibración y mixtos. Siendo estos métodos en gran parte adaptables a cualquier aplicación del suelo, sea agrícola o ingenieril.

El primer equipo de compactación fue el equipo CBR (California Bearing Ratio) o California en 1929 por parte de la división de carreteras de California, el ensayo permite obtener un número asociado a la capacidad de soporte del suelo. (Mauricio Barrera Bucio et. Al. 2004)

El equipo siguiente fue el establecido por R.R. Proctor en 1933 conocido como pruebas Proctor Estándar o AASHO, siendo un equipo clasificado dentro de los de impacto y vibración, al igual que el equipo Proctor Modificado que se introdujo durante la segunda guerra mundial, con cinco veces más la energía de compactación que el estándar. (Laboratorio de geotecnia 2000)

El equipo Porter desarrollado en 1935 por O.J. Porter, siendo colocado entre los métodos de presión. (Mauricio Barrera Bucio et. Al. 2004)

El equipo Harvard que fue desarrollado por el profesor S. D. Wilson (1950) En la Universidad de Harvard (EUA) se encuentra dentro de los equipos de compactación por amasado. (Laboratorio de geotecnia 2000)

1.2 Objetivos:

- Diseñar y construir un simulador de compactación de suelo.
- Contribuir al equipamiento del laboratorio de fluídica y al desarrollo del departamento de Maquinaria Agrícola.
- Generar equipo de laboratorio para realizar practicas e Impulsar la investigación y solución de problemas vinculados con la compactación del suelo.

1.3 Hipótesis

Es posible diseñar y construir un simulador de compactación de suelo agrícola, donde se utilice presión neumática y materiales disponibles en el mercado local.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 .Compactación de Suelos

2.1.1 Conceptos y definiciones

El suelo esta compuesto por tres fases:

Sólida- compuesta de las diferentes partículas de suelo.

Líquida- básicamente compuesta de agua.

Gaseosa- compuesta de aire.

La compactación es la reducción de las fases gaseosa y líquida, produciendo un endurecimiento del suelo, impidiendo el normal desarrollo de las raíces, por consiguiente un mal desarrollo del cultivo y una baja producción, aunado a esto tenemos también un exceso de consumo de energía y mayor facilidad de erosión. (Infoagro 2002) .

En la agronomía, el suelo es la capa superficial de la corteza terrestre que contiene minerales, materia orgánica, aire, agua y los nutrientes necesarios para dar sostén y permitir el desarrollo a las plantas superiores.

La cuantificación del estado de compactación, se realiza en base a los valores que toman una serie de propiedades del suelo, especialmente la porosidad y la densidad aparente.

La porosidad del suelo se refiere al volumen de aire y agua contenidos en una unidad de volumen de suelo. La cantidad de poros y el volumen ocupado

por estos esta determinado por el arreglo de las partículas sólidas del suelo y no por el tamaño de estas.

La densidad aparente es la relación que hay entre la masa de sólidos y el volumen total, con el aumento de la materia orgánica la densidad aparente disminuye.(Narro Farias Eduardo. 1999)

2.1.2 Origen de la compactación.

En condiciones naturales (sin intervención del hombre) se pueden encontrar en el suelo, horizontes con diferentes grados de compactación, lo que se explica por las condiciones que dominaron durante la formación y la evolución del suelo. Sin embargo es bajo condiciones de intenso uso agrícola que este fenómeno se acelera y llega a producir serios problemas en el desarrollo de las plantas cultivadas.

2.1.3 Efectos de la compactación en los suelos agrícolas.

a) Aumento de la resistencia mecánica del suelo.

El aumento de la resistencia mecánica del suelo va a restringir el crecimiento de las raíces a espacios de menor resistencia, tales como los que se ubican entre las estructuras (terrones), en cavidades formadas por la fauna del suelo (lombrices) y en espacios que se producen por la descomposición de restos orgánicos gruesos (raíces muertas). Esta situación va a producir un patrón de crecimiento característico de raíces aplanadas, ubicadas en fisuras del suelo con escasa exploración del volumen total del suelo.

b) Disminución de la macro porosidad del suelo.

La disminución de la porosidad del suelo va a producir una baja capacidad de aireación y oxigenación del suelo, lo que va a producir una disminución de la

actividad de las raíces, y consecuentemente menor crecimiento de éstas, menor volumen de suelo explorado, y menor absorción de agua y nutrientes. Este efecto se agrava cuando se riega en forma excesiva, llegando a producirse la muerte de las raíces por asfixia.

c) Dificultad para la penetración de las raíces.

Tras la nascencia de la planta, es necesario que se produzca un intenso desarrollo de su sistema radicular para que pueda iniciar la absorción de agua y nutrientes. En ocasiones se produce la muerte de una plantación o un lento desarrollo de la misma sin causa explicable aparente, la razón suele ser en la mayoría de los casos, una grave dificultad en el desarrollo radicular. (Infoagro, 2002)

2.1.4 Medidas correctivas para eliminar la compactación.

Predecir la vulnerabilidad de los suelos es interesante para prevenir el daño en las propiedades físicas del suelo debidas a la labranza y al tráfico de maquinaria. En este sentido, se podría aconsejar que la industria de maquinaria agrícola desarrollará máquinas adecuadas a las características geotécnicas de las zonas, y concebidas con la idea de conseguir buenas prácticas agrícolas (Jiménez Salas, 1997).

Algunas practicas agrícolas que se recomiendan en la web de infoagro, son:

- Uso de cubiertas vegetales.
- Subsulado.
- Uso de acondicionadores físicos.
- Camellones.
- Incorporación de materia orgánica al suelo
- Uso de pistas de circulación
- Ajustar maquinaria a una misma trocha.

Todas estas prácticas, son muy importantes y se trata de mantener el suelo con una excelente estructura, buena aireación, también solucionando los problemas de compactación que pueden existir, así como evitar que aumente la compactación del suelo. (Infoagro, 2002)

2.2 Prácticas Para La Evaluación De La Compactación

2.2.1 Métodos de compactación en el laboratorio (ingeniería civil)

El objetivo básico de estos ensayos de laboratorio, es en principio obtener la curva de compactación del suelo que se estudia. En algunos casos se trata, además, de obtener probetas para realizar con ellas ensayos específicos.

Una vez elegido el tipo y el nivel de energía que se aplicará al suelo se compacta con distintos contenidos de agua para obtener un conjunto de puntos, en general con cuatro puntos es suficiente para dibujar la curva y poder determinar la masa volumétrica, seca máxima y la humedad óptima.

Para cualquier ensayo de compactación, se sigue la costumbre de destacar por tamizado aquella fracción de suelo cuyo tamaño de agregado supera una cierta norma y que resulta excesivamente grande para el tamaño de molde que ese emplea.

2.2.2 Clasificación de los ensayos de compactación

Se clasifican principalmente en cinco métodos:

2.2.2.1 Métodos de impacto

Se basan en compactar el material seleccionado en capas con un cierto

espesor, colocadas dentro de un molde cilíndrico de acero, aplicando sobre cada capa un cierto número de golpes con un pisón que tiene una masa determinada y que se deja caer desde una altura prefijada. Variando alguno de estos factores (altura de caída , masa del pisón, numero de golpes, etc.) varía el nivel de energía entregado y con ello el resultado que se obtiene.

Uno de los mas conocidos es el ensayo desarrollado por Próctor en 1933.

El inconveniente más frecuente que suelen tener los ensayos de impacto radica en la dispersión de los resultados obtenidos, en particular cuando los golpes se aplican con un pisón en forma manual, ya que el reparto uniforme de los mismos sobre cada capa no siempre resulta sencillo, además las capas no suelen tener el mismo espesor, lo que hace que los resultados de la compactación varíen a lo largo de la probeta de suelo compactado. El empleo de los compactadores automáticos ha mejorado los resultados obtenidos (Park et al,1999)

Los métodos de laboratorio por impacto se consideran adecuados para reproducir las características de los suelos cohesivos compactados en el campo (Rico y castillo, 1976). Sin embargo, el inconveniente que tiene radica en que al compactar el suelo en un molde muy rígido los desplazamientos laterales que experimentan las partículas son menores que en el terreno.

Uno de los métodos por impacto más comunes es el Próctor en sus dos variantes, normal y modificado.

2.2.2.2 Métodos de presión

Se desarrollaron con la idea de que eran mas adecuados para reproducir en el laboratorio las características de los suelos granulares compactados, en particular los compactadores con rodillo liso. Una de estas pruebas es la de Pórter y consiste en colocar tres capas de suelo en un molde cilíndrico, cada una ligeramente compactada por amasado con una varilla delgada con punta redondeada, sobre la que se aplica una presión determinada

durante un cierto tiempo. Las especificaciones del ensayo de Pórtér se pueden encontrar en varias obras de mecánica de suelos como por ejemplo en Rico y del Castillo (1976).

En el Caso de compactar en el laboratorio de forma estática, la energía específica depende del tamaño del molde, de la presión aplicada y también del tiempo de aplicación de la misma.

2.2.2.3 Métodos de amasado

Con ellos se intenta reproducir en el laboratorio el efecto que tiene en el campo el rodillo conocido como pata pe cabra y en menor grado el rodillo neumático. La compactación se hace con una varilla delgada sucesivamente aplicada sobre la muestra. *Este* procedimiento desarrolla fuertes presiones en áreas muy pequeñas por lo que hay acciones muy localizadas que lo hacen especialmente adecuado para compactar suelos cohesivos ya que deshace los grumos grandes de partículas. Es poco apropiado para materiales granulares.

Cuando en el laboratorio se recurre a la compactación por amasado, la evaluación de la energía específica es aún más compleja, ya que la compactación se hace con un pisón que produce presiones variables en el tiempo, que crecen y decrecen, cíclicamente. La energía entregada al suelo es función de la presión aplicada de las características de la varilla, del tamaño del molde y del número de aplicaciones.

Uno de los métodos que se emplea con más frecuencia para la compactación dinámica en el laboratorio es el Harvard que utiliza el compactador manual del mismo nombre. Este compactador cuenta con una varilla que comprime un muelle por lo que en cada aplicación la presión que se transmite a la muestra es constante. Esta presión es constante en cada ensayo pero se puede modificar ya que es posible cambiar la constante recuperadora del resorte mediante un tomillo de ajuste.

Para los suelos muy blandos, con contenidos de agua elevados, se corre el riesgo de que la varilla llegue al fondo del molde desvirtuando así el efecto de la compactación. Por otro lado, si el suelo es muy rígido, con baja humedad, la compactación puede ser insuficiente.

2.2.2.4 Métodos de vibración

Son adecuados para materiales granulares en los que la vibración aplicada genera fuerzas que vencen la fricción interna permitiendo así la reducción del índice de vacíos. Son poco adecuados para los materiales cohesivos ya que son incapaces de deshacer los grumos de partículas que se forman.

La compactación se consigue aplicando un vibrador sobre el suelo colocado en un molde o bien poniendo el molde sobre una mesa vibratoria. La energía específica que se transmite al suelo es una función de la frecuencia y amplitud de la excitación que se aplica, del tiempo de aplicación y de la sobrecarga que se coloca.

De todos los ensayos el que más se utiliza con mayor frecuencia para preparar probetas para el estudio del comportamiento mecánico de los suelos compactados es el método de Próctor en sus dos variantes, normal y modificado.

2.2.2.5 Métodos mixtos

Se basan en combinar algunos de los anteriores, por ejemplo el de presión con el de vibración. (Mauricio Barrera Bucio et. al. 2004)

2.2.3 Pruebas De Compactación

2.2.3.1 Proctor Estándar

Actualmente existen muchos métodos para reproducir en el laboratorio unas condiciones dadas en el campo; el primer método en el sentido de la técnica actual es el debido a R. R. Próctor (1933) y es conocido en la actualidad como Prueba Próctor Estándar o AASHO (American Association of State Highway Officials).

La prueba consiste en compactar el suelo en cuestión en tres capas, dentro de un molde de dimensiones y formas especificadas por medio de golpes de un pisón, también especificado, que se deja caer libremente desde una altura prefijada. Modernamente se ha desarrollado equipo mecánico de laboratorio capaz de efectuar la prueba Proctor automáticamente.



.Figura 2.1 Equipo próctor estándar. Guía ,Regla metálica enrasadora, Molde, Pisón. (Cursos de geotécnica)

2.2.3.2 Proctor Modificado

Durante la Segunda Guerra Mundial, los nuevos y pesados equipos de aviación pasaron a exigir densidades de subrasante en las aeropistas, mayores que el 100 % del Proctor Estándar. Se introdujo entonces el ensayo de compactación modificado (Proctor Modificado, ensayo modificado AASHTO, o ensayo de compactación modificado) en el que se utiliza una mayor energía de compactación.

Las características básicas del ensayo son las mismas del ensayo estándar de compactación. El ensayo de compactación modificado aplica una energía nominal de compactación al suelo de $2,710 \text{ kJ/m}^3$ lo que representa cerca de 5 veces la energía de compactación del ensayo estándar produciendo un incremento entre un 5 y un 10 % de la densidad y una disminución en la humedad óptima.



Figura 2.2 Equipo próctor modificado. Molde, Pisón, Guía Regla metálica enrasadora.



Figura 2.3 Compactadora mecánica automática para ensayos Proctor Normal, Proctor Modificado y C.B.R Accesorios: Cabina de insonorización (Mecánica de suelos)

2.2.3.3 Harvard

Actualmente se ha modificado la prueba Proctor debido principalmente a que ésta ya no lograba representar las compactaciones que se podían hacer o lograrse con los nuevos equipos. Un inconveniente de este tipo de pruebas es que requieren mucho tiempo y trabajo además de una cantidad de material a veces excesiva, a vista de esto se han desarrollado otras pruebas que tratan de atenuar estos defectos; una de estas es la desarrollada por el Prof. S. D. Wilson en la universidad de Harvard (EUA) siendo esta la que ha rendido mejores resultados.



Figura 2.4 Máquina para ensayos harvard.

2.2.3.4 Prueba de Compactación Pórtier

La prueba de compactación estática, introducida por O. J. Pórtter y que alcanzó su forma definitiva alrededor de 1935. en ella se compacta al suelo colocándolo dentro de un molde cilíndrico de unas 6" de diámetro, el suelo se dispone en tres capas y se acomoda con 25 golpes de una varilla con punta de bala, lo que no significa una compactación intensa, pues la varilla es ligera y la altura de caída, que no esta especificada es la mínima utilizable por el operador para la manipulación cómoda.

La compactación propiamente dicha se logra al aplicar al conjunto de tres capas una presión de 140.6 Kg/cm^2 , la cual se mantiene durante un minuto.

Este método de prueba sirve para determinar el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima en suelos con partículas gruesas que se emplean en la construcción de terracerías; también se puede emplear en arenas y en materiales finos cuyo índice plástico sea menor que 6. el método consiste en preparar especímenes con material que pasa la malla de una pulgada, a los que se le agregan diferentes cantidades de agua y se compactan con carga estática.

El objetivo en esta practica se determina la compactación por carga estática ya que es igual que la prueba. Proctor se calculara el peso especifico seco máximo y contenido de humedad. (Ingeniería civil y arquitectura)



Figura 2.5 Equipo porter Molde, Placa de carga anular, Tripie



Figura 2.6 Prensa porter de 50 tons. de capacidad, equipada con cilindro hidráulico de regresión automática y bomba manual

<http://www.elvec.com.mx/suelos01.html>

2.2.3.5 Prueba De Compactación California (CBR)

El ensayo de soporte de California se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California en 1929 como una forma de clasificar la capacidad de un suelo para ser utilizado como subrasante o material de base en construcción de carreteras.

El ensayo CBR (la ASTM denomina el ensayo simplemente un ensayo de relación de soporte) mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un número asociado a la capacidad de soporte.

El CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria (por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración dentro de la muestra de suelo compactada a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo determinado utilizando el ensayo de compactación estándar (o modificado).

El ensayo de penetración se lleva a cabo en una máquina de compresión utilizando una velocidad de deformación unitaria de 1.27 mm/min. Se toman lecturas de carga versus penetración cada 0.64 mm de penetración hasta llegar a un valor de 5.0 mm a partir del cual se toman lecturas con velocidades de penetración de 2.5 mm/min hasta obtener una penetración total de 12.7 mm.

El valor del CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos, principalmente con fines de utilización como base y subrasante bajo pavimentos de carreteras y aeropistas. (Mecánica de suelos <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica7.htm>)



Figura 2.7 Prensa mecánica para ensaye a compresión tipo CBR de 45 kN



Figura 2.8 Equipo para CBR Molde, Anillo de corte y Tripie

<http://www.elvec.com.mx/suelos01.html>

2.2.3.6 Compactador uniaxial de suelos utilizado en la agricultura.

Para realizar estudios de compactación de suelos en laboratorio, se desarrolló y construyó un *Compactador Uniaxial de Suelos*, con capacidad de generar presiones de hasta 4 kg/cm^2 . Las muestras de suelo se compactan en cilindros metálicos de 10 cm de diámetro. Puede trabajar con muestra disturbada o no disturbada.

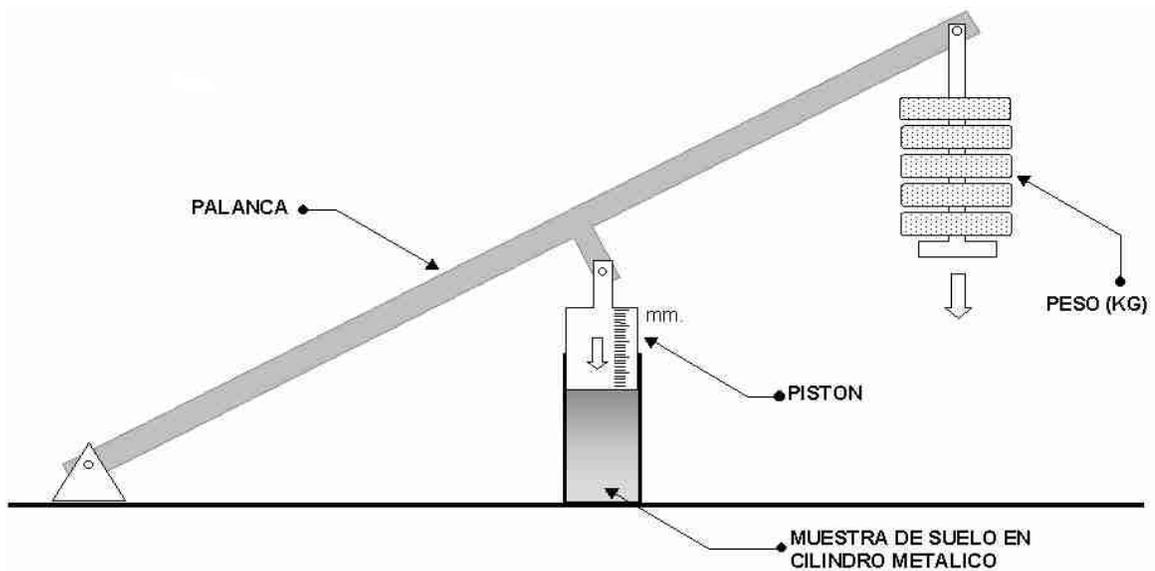


Figura 2.9 Compactador uniaxial de suelos.

Durante el proceso de compactación se mide la reducción del volumen para establecer variaciones de densidad aparente y porosidad total. Los

cilindros con las muestras de suelo una vez compactadas pueden instalarse en un dispositivo para medir su conductividad hidráulica saturada. (INTA instituto de suelos).

2.3 Fundamentos De Neumática

2.3.1 Conceptos y fundamentos.

La atmósfera terrestre está constituida principalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). El 1% restante lo forman el argón (0,9%), el dióxido de carbono (0,03%), distintas proporciones de vapor de agua, y trazas de hidrógeno, ozono, metano, monóxido de carbono, helio, neón, kriptón y xenón.

El contenido en vapor de agua del aire varía considerablemente en función de la temperatura y de la humedad relativa. También contiene algún porcentaje de gases industriales. (Encarta, 2004).

Como todos los gases, el aire no tiene una forma determinada. Toma la del recipiente que lo contiene o la de su ambiente. Permite ser comprimido (compresión) y tiene la tendencia a dilatarse (expansión).

Neumática se define como el flujo de cualquier gas en un sistema bajo presión, y sabemos que en la neumática el aire es el elemento esencial para hacer posible el movimiento de los elementos o actuadores. Obviamente se analizan la presión y la fuerza que requerimos en determinado movimiento o trabajo. Para eso es necesario saber los conceptos básicos para analizar un sistema neumático como son: la fuerza, la presión, el trabajo, etc.

Dentro de las instalaciones neumáticas se emplea una energía considerada como un fluido (aire comprimido), la cual proviene de un compresor, con el propósito de transformarla en un trabajo mecánico. El aire

alcanza una presión mediante la oportuna acción del motor eléctrico del compresor. El aire es almacenado en un depósito hermético.

La presión se mide en:

- BARS = Kg/cm^2
- PSI = Lib/pulg^2
- ATMOSFERAS
- PASCALES

El dispositivo empleado para medir la presión es el llamado *manómetro*. Debe de tomarse en cuenta que el aire comprimible presenta desventajas como el movimiento no uniforme del pistón al avanzar lentamente con carga aplicada; así como algunas de sus ventajas, como son: facilidad de descarga y facilidad de fluido mismo (Meixner/Sauer, 1990).

Dentro de las numerosas aplicaciones de la neumática podemos mencionar en forma general, la manipulación de piezas, en técnicas de fabricación, y diversas técnicas especializadas como: dosificar, transportar, accionar ejes, abrir y cerrar puertas, etc.

(http://www.viagenius.edu.pe/Oficina/Sistemas_Neumaticos.html).

2.3.2 Propiedades del aire comprimido.

- abundante
- transporte
- almacenable
- temperatura
- antideflagante
- limpio
- velocidad
- a prueba de sobrecarga
- preparación
- compresible
- fuerza
- escape

- velocidad
- costos
- constitución de los elementos

Todas estas propiedades del aire comprimido que se mencionan en Introducción en la neumática de FESTO, nos muestran muchas ventajas en la utilización del aire comprimido, respecto a otros tipos de energías. Y que en muchos casos resultaría casi imposible realizar el trabajo, si no se contara con la energía neumática. Entre las características que mas destacan son la limpieza y la velocidad con que se trabaja.

En las recomendaciones que hace Parker automation, tenemos que al establecer y planear una red neumática, es conveniente prever un tamaño superior al requerido, para poder alimentas aparatos neumáticos nuevos, y que la estación compresora, después de poco tiempo resulte insuficiente, puesto que toda ampliación posterior, supone gastos muy considerables. (parker automation)

2.3.3 Componentes Neumáticos

Existe una gran variedad de dispositivos neumáticos, los cuales tienen una gran diversidad de movimientos y operaciones que pueden ejecutar.

2.3.3.1 Compresores y clasificación

Teniendo en cuenta que por compresor se entiende como un instrumento mecánico que reduce el volumen ocupado por un gas (aire) a través de cierta presión ejercida sobre él.

Según las exigencias referentes a la presión de trabajo y al caudal de suministro, se pueden emplear diversos tipos de construcción.

El aire al ser comprimido aumenta su temperatura, por lo tanto es necesario que se enfríe el aire, por medio de agua o aire frío. El aire comprimido a altas presiones se consigue por medio de varias etapas de compresión.(Encarta 2004)

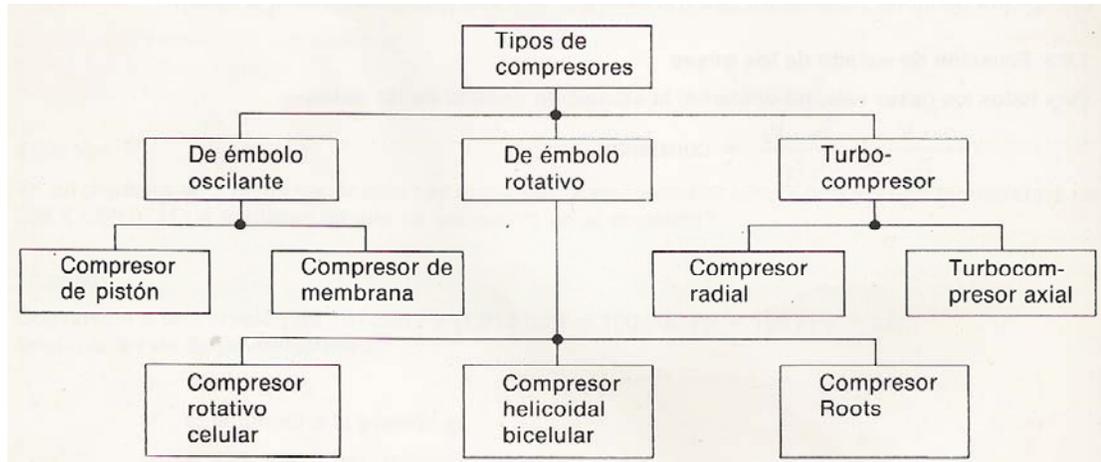


Figura 3.1.- Clasificación de compresores.

a) Compresor de Émbolo Oscilante

Este es el tipo de compresor más difundido actualmente (Figura 3.2). Es apropiado para comprimir a baja, media o alta presión. Su campo de trabajo se extiende desde unos.100 kPa (1 bar) a varios miles de kPa (bar).

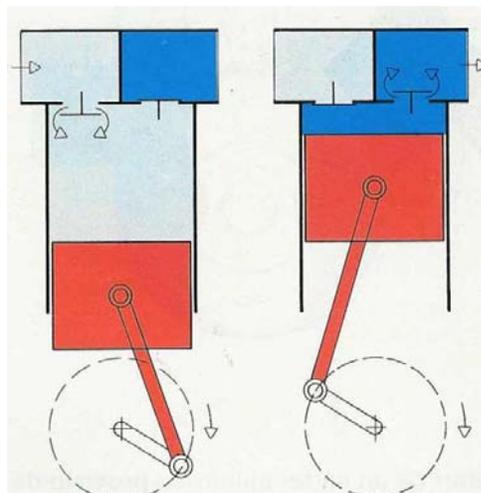


Figura 3.2.- Compresor de émbolo oscilante.

b) Compresor de Membrana

Este tipo forma parte del grupo de compresores de émbolo. Una membrana separa el émbolo de la cámara de trabajo; el aire no entra en contacto con las piezas móviles. Por tanto, en todo caso, el aire comprimido estará exento de aceite. Estos, compresores se emplean con preferencia en las industrias alimenticias farmacéuticas y químicas.

c) Compresor de Émbolo Rotativo

Consiste en un émbolo que tiene un movimiento rotatorio. El aire es comprimido por la continua reducción del volumen en un recinto hermético.

d) Compresor Rotativo Multicelular

Un rotor excéntrico gira en el interior de un cárter cilíndrico provisto de ranuras de entrada y de salida. Las ventajas de este compresor residen en sus dimensiones reducidas, su funcionamiento silencioso y su caudal prácticamente uniforme y sin sacudidas.

El rotor está provisto de un cierto número de aletas que se deslizan en el interior de las ranuras y forman las células con la pared del cárter. Cuando el rotor gira, las aletas son oprimidas por la fuerza centrífuga contra la pared del cárter, y debido a la excentricidad el volumen de las células varía constantemente.

e) Compresor de Tornillo Helicoidal de Dos Ejes

Dos tornillos helicoidales que engranan con sus perfiles cóncavo y convexo impulsan hacia el otro lado el aire aspirado axialmente.

f) Compresor Rotos

En estos compresores, el aire es llevado de un lado a otro sin que el volumen sea modificado. En el lado de impulsión, la estanqueidad se asegura mediante los bordes de los émbolos rotativos.

g) Turbocompresores

Trabajan según el principio de la dinámica de los fluidos, y son muy apropiados para grandes caudales. Se fabrican de tipo axial y radial. El aire se pone en circulación por medio de una o varias ruedas de turbina. Esta energía cinética se convierte en una energía elástica de compresión. La rotación de los alabes acelera el aire en sentido axial de flujo. (Meixner/Kobler, 1988).

2.3.3.2 Acumulador de Aire Comprimido

El acumulador o depósito sirve para estabilizar el suministro de aire comprimido. Compensa las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medida que se consume aire comprimido.

Gracias a la gran superficie del acumulador, el aire se refrigera adicionalmente. Por este motivo, en el acumulador se desprende directamente una parte de la humedad del aire en forma de agua.

2.3.3.3 Unidad de Mantenimiento (FRL)

La unidad de mantenimiento (Figura 2.3) representa una combinación de los siguientes elementos:

- Filtro.
- Regulador de presión.
- Lubricador.



Figura 3.3.-Unidad de mantenimiento

2.3.3.4 Tipos de Cilindros

La clasificación mas general de los cilindros son de dos tipos de simple efecto y de doble efecto:

a) Cilindros de Simple Efecto

Estos cilindros tienen una sola conexión de aire comprimido (Figura 3.4 y 3.5) pueden realizar trabajos solamente en un sentido. Se necesita aire sólo para un movimiento de traslación. El vástago retorna por el efecto de una muelle incorporado o de una fuerza externa. En los cilindros de simple efecto con muelle incorporado, la longitud de éste limita la carrera. Por eso, estos cilindros no sobrepasan una carrera de unos 100 mm. Se utilizan principalmente para sujetar, expulsar, apretar, levantar y alimentar.

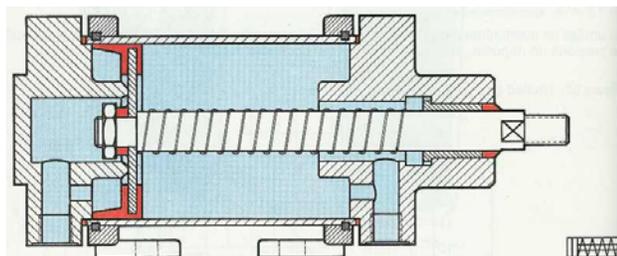


Figura 3.4.- Vista de simple efecto.



interna del cilindro

Figura 3.5.- Vista exterior del cilindro de simple efecto.

b) Cilindros de Doble Efecto

La fuerza ejercida por el aire comprimido desplaza al émbolo, en cilindros de doble efecto, a realizar un movimiento de traslación en los dos sentidos. Se dispone de una fuerza útil tanto en la ida como en el retorno. Los cilindros de doble efecto (Figura 3.6, 3.7) se emplean especialmente en los casos en que el émbolo tiene que realizar una misión también al retornar a su posición inicial. En principio, la carrera de los cilindros no está limitada, pero hay que tener en cuenta el pandeo y doblado que puede sufrir el vástago salido. (Festo,1988)

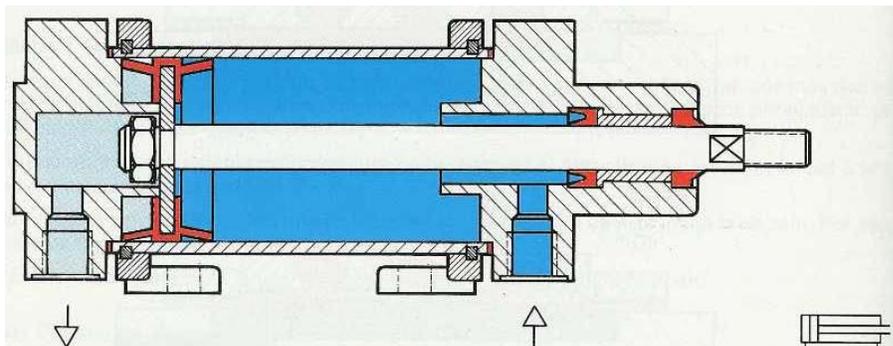


Figura 3.6.- Vista interna del cilindro de doble efecto.

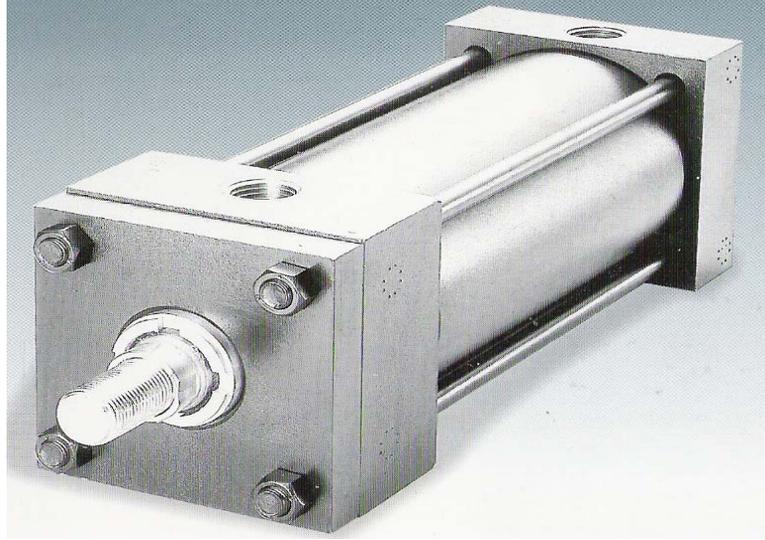


Figura 3.7-Cilindro de doble efecto.

2.4 PRINCIPIOS DE DISEÑO

2.4.1 Descripción y definición.

El diseño es una proyección de ideas en objetos , teniendo básicamente en cuenta los materiales empleados y su función. (Diccionario general de la lengua española 2000)

Diseño se puede definir como "el proceso de aplicar las diversas técnicas y principios científicos con el objeto de definir un dispositivo, un proceso o sistema con suficiente detalle para permitir su realización". El objetivo ultimo en el diseño de maquinas es dimensionar y formar piezas (elementos de maquinas) y escoger los materiales y procesos de manufactura apropiadas, de manera que la maquina resultante se comporte o lleve a cabo sin falla su función pretendida. (Norton, 1999).

2.4.2 Conocimientos necesarios para el diseño mecánico.

Los diseñadores utilizan gran variedad de conocimientos y destrezas en su trabajo cotidiano, sobre diversas tecnologías que le servirán como apoyo, entre las que se incluyen las siguientes:

1. Dibujo técnico y diseño asistido por computadora.
2. Propiedades de los materiales.
3. Procesos de fabricación o manufactura.
4. Estática, dinámica y resistencia de materiales.
5. Cinética y mecanismos.

Los diseñadores también se basan en el conocimiento de mecánica de fluidos, termodinámica, controles eléctricos y procesos químicos.

(Robert L. Mott)

2.4.3 Propiedades de los materiales

El comportamiento físico de los materiales se encuentra descrito por una gran variedad de propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas y térmicas. La mayoría de estas propiedades esta determinada por la estructura atómica, el ordenamiento atómico y la estructura cristalina del material. Las propiedades

físicas pueden modificarse en gran parte cambiando el ordenamiento de corto y largo alcance de los átomos, así como introduciendo y controlando imperfecciones en la estructura (Askeland, 1987).

2.4.4 Propiedades Mecánicas De Los Materiales

En ingeniería se necesita saber cómo responden los materiales sólidos a fuerzas externas como **la tensión, la compresión, la torsión, la flexión o la cizalladura**. Los materiales sólidos responden a dichas fuerzas con una deformación elástica (en la que el material vuelve a su tamaño y forma originales cuando se elimina la fuerza externa), una deformación permanente o una fractura. Los efectos de una fuerza externa dependientes del tiempo son la **plastodeformación y la fatiga**. (Encarta 2004)

2.4.5 Códigos y normas

Una norma o estándar es un conjunto de especificaciones para piezas, materiales o procesos establecidos, con el fin de lograr uniformidad, eficiencia y calidad especificadas. Uno de los objetos importantes de una norma es fijar un límite al número de artículos en las especificaciones, así como permitir que se tenga un inventario razonable de herramientas, tamaños, formas y variedades.

Un código es un conjunto de especificaciones para efectuar un análisis, el diseño, la fabricación y la construcción de un objeto o sistema. El propósito de un código es alcanzar un grado especificado de seguridad no implican la seguridad absoluta. De hecho, esta cualidad es imposible de obtener. (Shigley y Mitchell, 1990).

2.4.6 Factor de seguridad

La calidad de un diseño se mide según diversos criterios. Siempre será necesario calcular uno o más factores de seguridad para prever la probabilidad de una falla. Un factor de seguridad se expresa de muchas formas. Se trata de una relación de dos cantidades que contiene las mismas unidades, como

resistencia/esfuerzo, o velocidad máxima de seguridad/velocidad de operación. Un factor de seguridad siempre carecerá de unidades. (Norton, 1999)

2.4.7 Fases del Diseño

El proceso total de diseño, ¿Cómo empieza? ¿Simplemente llega un ingeniero a su escritorio y se sienta ante una hoja de papel en blanco y se pone a escribir algunas ideas? ¿Que hace después? ¿Qué factores determinan o influyen en las decisiones que se deben tomar? Por ultimo, ¿Cómo termina este proceso total de diseño?

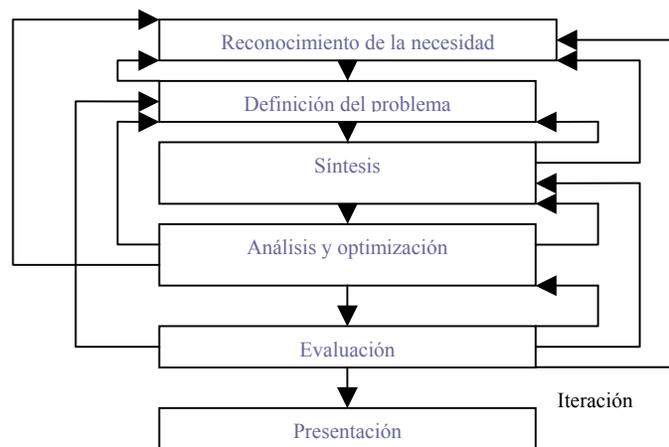


Figura 4.1 Fases de diseño.

A menudo se describe el proceso total de diseño (desde que empieza hasta que termina) como se muestra en la figura 1.1. Principia con la identificación de una necesidad y con una decisión de hacer algo. Después de muchas iteraciones, el proceso finaliza con la presentación de los planes para satisfacer tal necesidad.

2.4.7.1 Identificación de Necesidades y Definición de Problemas

A veces, pero no siempre, el diseño comienza cuando un ingeniero se da cuenta de una necesidad y decide hacer algo al respecto. Identificar la necesidad puede manifestarse simplemente como un vago descontento o bien por la

intuición de una dificultad o en la sensación de que algo no está correcto. Con frecuencia, la necesidad no es del todo evidente; por lo general, se identifica de repente a partir de una circunstancia adversa o de una serie de circunstancias fortuitas que surgen al mismo tiempo.

Hay una diferencia bien clara entre el planteamiento de la necesidad y la definición del problema que sigue a dicha expresión (Fig. 4.1). El problema es más específico. La definición del problema debe abarcar todas las condiciones para el objeto que ha de ser diseñado. Las condiciones o especificaciones son las cantidades de entrada y de salida, las características y dimensiones del espacio que deberá ocupar el objeto, y todas las limitaciones a estas cantidades. Se puede considerar el objeto a diseñar como algo colocado en una caja negra. En este caso se debe especificar lo que entra y lo que sale de dicha caja, juntos con sus características y limitaciones. Las especificaciones definen el costo, la cantidad de piezas a fabricar, la duración esperada, el intervalo o variedad de capacidades, la temperatura de trabajo y la confiabilidad.

2.4.7.2 Síntesis, Análisis y Optimización

Una vez que se ha definido el problema y obtenido un conjunto de especificaciones implícitas formuladas por escrito, el siguiente paso en el diseño, como se muestra en la figura 4.1, es la síntesis de una solución óptima. Ahora bien, esta síntesis no podrá efectuarse antes de hacer el análisis y la optimización debido a que se analiza el sistema a diseñar, con el fin de determinar si su funcionamiento cumplirá las especificaciones. El análisis podría revelar que el sistema no es óptimo. Si el diseño no resultase satisfactorio en una de dichas pruebas o en ambas, el procedimiento de síntesis deberá iniciarse otra vez.

Para el análisis y la optimización se requiere que se ideen o imaginen modelos abstractos del sistema que admitan alguna forma de análisis matemático. Tales consideraciones reciben el nombre de modelos matemáticos.

2.4.7.3 Evaluación y Presentación

Es la demostración definitiva de que un diseño es acertado y, por lo general, incluye pruebas de un prototipo en el laboratorio. En tal punto es cuando se desea observar si el diseño satisface realmente la necesidad o las necesidades. ¿Es confiable? ¿Es fácil de mantener y ajustar? ¿Se obtendrán ganancias por su venta o utilización? ¿Cuan probable es que ocasione un litigio como producto de riesgo? ¿Y es factible de ser asegurado fácilmente y a bajo precio? ¿Es probable que se requieran medios especiales para reemplazar sistemas o partes defectuosas?

La comunicación del diseño a otras personas es el paso final y vital en el proceso de diseño (Shigley, 1990).

2.4.8 Consideraciones de Diseño

A veces la resistencia de un elemento en un sistema es un asunto importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá dicho elemento (Shigley, 1990). En tal caso se dice que la resistencia es un factor importante de diseño. Cuando se usa la expresión consideración de diseño se está refiriendo a una característica que influye en el diseño de un elemento o quizá en todo el sistema. Generalmente se tiene que tomar en cuenta varios de estos factores en un caso de diseño determinado.

Entre los mas importantes son:

- resistencia
- confiabilidad
- propiedades térmica
- corrosión
- costo
- seguridad
- duración
- estabilización
- forma
- volumen
- responsabilidad legal
- lubricación
- ruido
- flexibilidad
- tamaño
- control
- utilidad
- fricción
- procedimiento
- desgaste
- peso
- acabado
- rigidez
- mantenimiento

Algunos de estos factores se refieren directamente a las dimensiones, al material, al procesamiento o proceso de fabricación, o bien a la unión o ensamble de los elementos del sistema. Otros se relacionan con la configuración total del sistema.

Se pueden sugerir criterios adicionales y determinar la importancia relativa de criterio que se aplica en cada diseño. Es cierto que la seguridad es de primordial importancia y el diseñador es responsable legalmente si alguien resultase lesionado debido a errores en el diseño. El diseñador debe considerar el uso razonable viable del dispositivo y asegurar la protección de los operadores y aquellas personas que se encuentren cerca. El desempeño correcto debe ser un criterio prioritario. La importancia de los demás criterios varia en función del diseño. (Robert L. Mott)

2.4.9 Bases para el diseño de vigas.

Las vigas son miembros estructurales diseñados para soportar cargas perpendiculares a sus ejes longitudinales , debido a esas cargas , las vigas desarrollan una fuerza constante interna y un momento flexionante que , en **general varia de punto en punto a lo largo del eje de la viga . algunas vigas pueden también estar sometidas a una carga axial interna; sin embargo . los efectos de estas fuerzas son a menudo despreciados en el diseño ya**

que el esfuerzo axial es generalmente mucho mas pequeño que los esfuerzos generados por cortante y flexión. Se dice que una viga seleccionada para resistir esfuerzos cortantes y de flexión se diseña con base en la resistencia.

2.4.10 límites de deflexión recomendables

En realidad, sólo a partir del conocimiento profundo del uso de un miembro de una máquina o de un armazón se puede obtener un valor correspondiente a una deflexión aceptable. Sin embargo, a fin de señalar un punto de partida, se dispone de algunos parámetros .

Deflexión a consecuencia de flexión:

Una parte de una máquina en general: 0.000 5 a 0.003 pulg./pulg. de la longitud de la viga.

Precisión moderada: 0.00001 a 0.000 5 pulg./pulg.

Alta precisión 0.000 001 a 0.00001 pulg./pulg.

Deflexión (giro) debido a la torsión:

Una parte de una máquina en general: 0.001° a 0.01°/pulg. de la longitud

Precisión moderada: 0.00002° a 0.000 4°/pulg.

Alta precisión 0.000 001° a 0.000 02°/pulg.

2.4.11 Sugerencias de diseño para resistir la flexión

Para que el diseño sea resistente a la flexión se recomienda observar las sugerencias siguientes:

- 1.-Mantener la longitud de la viga tan corta como sea posible y colocar las cargas cerca de los soportes.
2. Maximizar el momento de inercia de la sección transversal en el sentido de la flexión. En general, esto se puede hacer colocando la mayor parte del ,material

lo más lejos posible del eje neutral de flexión como en una viga de reborde ancho o en una sección rectangular hueca.

3. Utilizar un material cuyo módulo de elasticidad sea alto.
4. Donde sea posible utilizar extremos fijos para la viga.
5. considerar la deflexión lateral además de la deflexión en el sentido principal de la carga.

Tales cargas se encontraran durante la fabricación el manejo, embarque, uso poco cuidadoso o golpes accidentales.

6. asegúrese de evaluar en el diseño final la resistencia y la rigidez. Algunos enfoques para incrementar I , en realidad pueden incrementar la tensión de la viga debido a que se incrementa el modulo de la sección

7. Proporcionar apuntalamiento rígido en las esquinas de estructuras o armazones abiertos.

8. cubrir la sección abierta de una armazón o estructura con un material laminado para resistir la distorsión. A veces a esto se le da el nombre de *refuerzo mediante entrepaños*.

9. Considere una construcción tipo armadura o entramado para obtener. rigidez estructural con miembros de poco peso.

10. Cuando diseñe un armazón o estructura de espacio abierto, utilice riostras o apuntalamientos diagonales para dividir secciones en partes triangulares, una forma inherentemente rígida.

11. Considere usar montantes de refuerzo para paneles de gran tamaño a fin de reducir la vibración y el ruido.

12. Agregue riostras o apuntalamientos donde se aplican cargas o en los soportes para ayudar a transferir las fuerzas hacia miembros adyacentes.

13. Tenga cuidado con los miembros que soportan cargas provistos .de rebordes extendidos que pueden colocarse en compresión. Es probable que se origine pandeo a nivel local, a lo que a veces se le da el nombre de desgarramiento o inestabilidad local.

14. De ser posible, coloque las conexiones en puntos de baja tensión.

2.4.12 Ensamblajes Soldados

En el diseño de ensamblajes soldados hay que considerar la manera en que se aplica la carga en los ensamblajes; los tipos de materiales en la soldadura y en los miembros que se van a ensamblar así como la geometría del ensamblaje. La carga puede estar distribuida de manera uniforme a lo largo de la soldadura de manera que todas las partes de la soldadura se sometan al mismo nivel de tensión, bien, la carga puede aplicarse en forma excéntrica.

Los materiales de la soldadura y de los miembros originales determinan las tensiones permisibles. El Cuadro 4.1 incluye diversos ejemplos para acero. Las tolerancias que se señalan corresponden a esfuerzo de corte en soldaduras de chaflanes. Para acero, soldado mediante el método de arco eléctrico, el tipo de electrodo es una indicación de la resistencia al esfuerzo de tracción del material de relleno. Por ejemplo, el electrodo E70 tiene una resistencia mínima al esfuerzo de tracción de 70 Ksi (483 MPa). En las publicaciones de la American Welding Society (AWS), American Institute for Steel Construction.

Cuadro 4.1 Tensiones por esfuerzo de corte permisibles en soldaduras de chaflanes.

| | <i>Acero</i> | |
|--------------------------|--|---|
| <i>Tipo de electrodo</i> | <i>Metales típicos que se ensamblan (Grado ASTM)</i> | <i>Tensión por esfuerzo de corte permisible</i> |
| E60 | A36, A500 | 18 Ksi (124 MPa) |
| E70 | A242, A441 | 21 Ksi (145 MPa) |
| E80 | A572 Grado 65 | 24Ksi (165 MPa) |

| | | |
|------|--|------------------|
| E90 | | 27 Ksi (186 MPa) |
| E100 | | 30 Ksi (207 MPa) |
| E110 | | 33 Ksi (228 MPa) |

2.4.12.1 Tipos de ensambles

El tipo de ensamble se refiere a la relación entre las partes que se enlazan, La soldadura a tope permite que un ensamble tenga el mismo espesor nominal que las partes que se enlazan y por lo regular se carga en tensión. Si el ensamble se hace en forma correcta con el material de soldadura adecuado, el ensamble será más resistente que el metal original. Por consiguiente, no se requiera realizar un análisis especial del ensamble si se demuestra que los propios miembros ensamblados son seguros. No obstante, se sugiere tener cuidado cuando los materiales que se van a ensamblar se ven afectados de manera adversa por el calor que se genera en el proceso de soldadura; los aceros que se someten a tratamiento térmico y muchas aleaciones de aluminio son ejemplos de ello. Se supone que los otros *tipos* de soldadura se colocan a la soldadura en esfuerzo de corte.

2.4.12.2 Tamaños de soldadura

Los cinco tipos de soldadura tipo ranura se hacen como soldaduras de penetración completa. Por consiguiente, como se indicó antes en cuanto a soldaduras a tope, la soldadura es más resistente que los metales originales y no se requiere hacer más análisis. Las soldaduras en chaflanes,(fig. 4.2) por lo regular, se hacen en ángulos rectos de lados iguales y el tamaño de la soldadura es indicado por la longitud del lado. Una soldadura de chaflán que se somete a carga de corte tendera a fallar a lo largo de la dimensión mas corta de la soldadura que es la línea a partir de la raíz de la soldadura hasta la cara teórica de la soldadura y normal respecto a la cara. Con base en la trigonometría simple, se encuentra que la longitud de esta línea es $0.707w$, donde w es la dimensión del lado, como se puede ver en la figura 4.2.

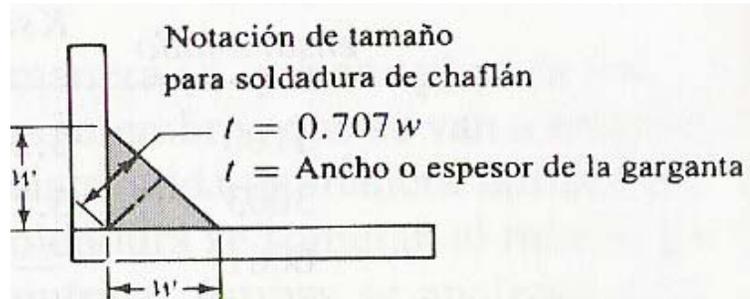


Figura: 4.2 soldadura de chaflán

Los objetivos del diseño de un ensamble soldado con chaflán son especificar la longitud de los lados del chaflán la forma de la soldadura y su longitud.

(Robert L. Mott 1995)

Cuadro 4.2 Tamaños mínimos de soldadura para placas de gran espesor.

| Espesor de la placa (pulg) | Tamaño mínimo de lado para soldadura de chaflán (pulg) |
|-------------------------------|---|
| $\leq 1/2$ | 3/16 |
| $> 1/2-3/4$ | 1/4 |
| $>3/4-11/2$ | 5/16 |
| $>11/2-21/4$ | 3/8 |
| $>21/4-6$ | 1/2 |
| >6 | 5/8 |

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Metodología del Diseño

La metodología utilizada para el diseño, fué la de diseño en ingeniería mecánica por Joseph Edward Shigley y Charles R. Mischke.

En el desarrollo de esta metodología de diseño también se apoyara con los software de dibujo: AUTOCAD 2002 y de diagramas procesos industriales MICROSOFT VISION 2002.

Durante este proceso es necesario acudir a elaborar modelos matemáticos para el diseño ingenieríl del prototipo.

3.1.1 Identificación de la necesidad.

Existe la necesidad de realizar investigación sobre los efectos y comportamiento del suelo agrícola compactado, para poder mejorar y generar técnicas o sistemas agrícolas, que sirvan para restaurar la situación actual de la agricultura en el ámbito de compactación de suelos.

3.1.2 Definición del problema.

El problema es que no se cuenta con el equipo apropiado para realizar tal investigación. Y específicamente en el departamento de maquinaria agrícola de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, no existe equipo que sea útil para realizar esta investigación, aunado a esto existen limitaciones económicas, por tanto se tendría un gran avance, el tener más equipo de laboratorio relativamente económico, indispensable para analizar situaciones o

fenómenos en la agricultura, en este caso vinculados con la compactación de suelos.

3.1.3 Síntesis

Al hacer un análisis sencillo sobre la situación actual en la que existen necesidades, la alternativa de solución mas viable para tener un equipo que brinde la oportunidad de realizar investigación, es diseñar y construir la herramienta específica para tal investigación.

El primer paso que se realizó para hacer el diseño del equipo, fué establecer los criterios de diseño, de acuerdo a la función o funciones que desempeñará el equipo, y cada una de las partes que lo componen, los criterios que fueron seleccionados son los siguientes: fácil calibración, eficiente y eficaz, económico, fácil desarmar y buena rigidez.

A partir de estos criterios, se prosiguió a idear algunos modelos de diseño, que posiblemente cumplirán con todas las características planteadas, en mayor o menor medida. A partir de esto se idearon seis modelos para la estructura que son:

1. Estructura completamente atornillada, que se compone de cuatro placas unidas solamente con tornillos.
2. Estructura completamente soldada, la cual consiste en unir cuatro placas por medio de soldadura.
3. Estructura doblada y soldada, consistía en doblar una placa en forma de "C" y unirla a una placa base por medio de soldadura.
4. Estructura doblada y atornillada, compuesta por una placa doblada en forma de "C", unida a la base por medio de tornillos.

5. Estructura soldada y atornillada, planeada por medio de diez placas, que se unen ocho de ellas separadas en cuatro y cuatro para formar dos piezas unidas por medio de soldadura, y el resto unidas con tornillos.

6. Estructura con cuatro barras circulares y dos placas, consistía en unir por medio de roscas las barras circulares a las placas una en la parte superior y otra como base.

Al realizar una análisis comparativo(Cuadro 5.0) de los modelos, se eligió un solo uno, el cual fué la estructura soldada y atornillada que cumplía con todos los aspectos requeridos.

Cuadro 5.0 Evaluación de modelos propuestos.

| EVALUACION | FACTORES | | | |
|------------------------|-----------|-------------------|---------|----------------|
| TIPO DE ESTRUCTURA | ECONOMICO | FACIL MANUFACTURA | RIGIDEZ | FACIL DESARMAR |
| TATALMENTE ATORNILLADA | | | | |
| TATALMENTE SOLDADA | | | | |
| DOBLADA Y SOLDADA | | | | |
| DOBLADA Y ATORNILLADA | | | | |
| SOLDADA Y ATORNILLADA | | | | |
| BARRAS CIRCULARES | | | | |

Se ha decidido que el equipo se construya por medio de una estructura de acero, cuyo objetivo principal es sostener el pistón neumático, y que además soporte la fuerza que este desarrolle, al mismo tiempo que posea un apoyo para el recipiente de la muestra de suelo.

Al mismo tiempo se establecieron las condiciones que debería poseer el sistema neumático del equipo, que principalmente son: fácil regulación de la presión de trabajo y fácil accionamiento de el pistón. Por tal razón se decidió hacer el sistema neumático con un regulador de presión variable, conectado por medio de tubo flexible a una válvula direccional que finalmente se conectara al pistón neumático.

3.1.4 Análisis y optimización

En primer lugar, se inició con el calculo de la presión máxima de compactación que se le aplicaría al suelo, como referencia principal se tomo la presión de cuatro bares, que ha sido utilizado en pruebas, para simular la carga por el paso de maquinaria (Perdok and Hendriksen, 1982). Sin embargo como ya se mencionó es posible encontrar en los suelos agrícolas presiones de compactación mas altas. Por lo tanto y considerando los productos disponibles en el mercado local, se decidió adquirir un pistón neumático con una presión máxima de 1,000Kpa. A partir de esa presión se realizó el calculo de la fuerza del vástago, dando como resultado una fuerza de 4,930.5Newtons(Apéndice A). La cual es la única fuerza que se tendría en todo el equipo.

El siguiente paso fue hacer la lista de materiales y elementos a utilizar para después buscarlos y seleccionarlos de acuerdo a lo disponible en el mercado. Después se determino el tamaño mínimo de la estructura (alto, ancho y largo), de acuerdo a las dimensiones de los elementos, los materiales seleccionados, el recipiente de la muestra de suelo y el manejo de la muestra de suelo. Como en las condiciones de espacio y manejo no existen realmente limitaciones, y además se dispone de ciertos materiales, como las placas, la selección de algunas dimensiones de la estructura se determinaron de manera empírica, pero con un buen margen de seguridad, los últimos análisis matemáticos(Apéndice B), que se hicieron fueron aplicados en las partes o puntos críticos en los que podría existir alguna falla, y para determinar la rigidez de la estructura.

En el sistema neumático, se hicieron análisis sobre el pistón, mencionados anteriormente y del consumo de aire del sistema por cada ciclo. También se elaboró un diagrama neumático, con todos los elementos neumáticos (por medio de símbolos) que lleva el sistema neumático del simulador, mostrado en la figura 5.0 .

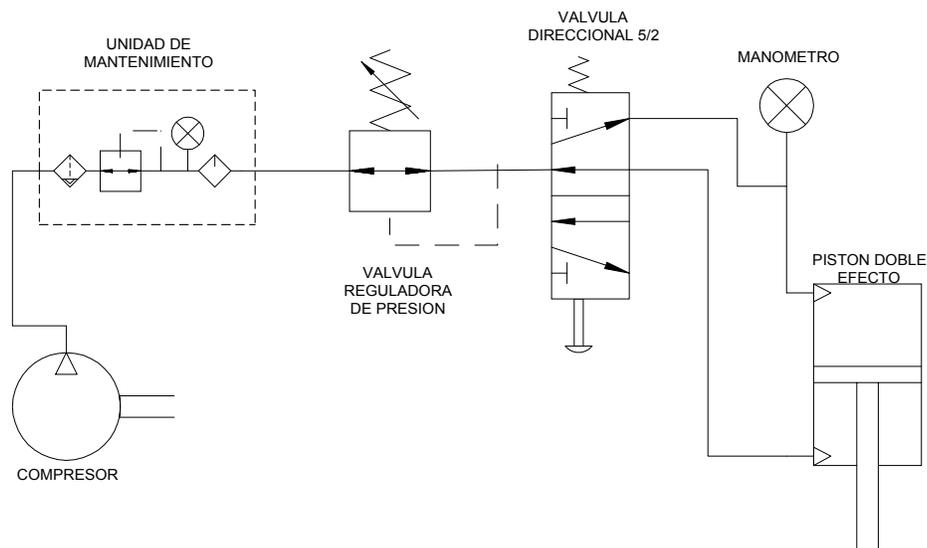


Figura 5.0 Elementos del sistema neumático (diagrama)

3.1.5 Evaluación y presentación

Es importante hacer evaluaciones de las características de interés a el modelo propuesto. Para determinar que tan factible será su construcción.

Las características de interés, son específicamente los criterios de diseño que se establecieron en la fase de síntesis, antes de tener un modelo definido.

Fácil calibración. Esta característica que deberá tener el simulador, se evaluó reproduciendo el procedimiento de calibración en el tablero neumático de el departamento de maquinaria agrícola de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, utilizando algunos elementos iguales a los que se utilizaran en

el simulador, y se estimó una calibración que consta de 4 pasos y con un tiempo máximo de 8.5 minutos.

Eficiente y eficaz. Para evaluar estas características se elaboró un modelo gráfico del simulador en el software de dibujo AutoCAD,(figura 5.1) en tercera dimensión donde no se encontró ninguna causa aparente que impida la eficacia y eficiencia del modelo del simulador, también se apoyó esta evaluación con el diagrama neumático mencionado en la fase anterior (análisis y optimización) el cual se elaboró en el software de diagramas simbólicos VisioTecnical en el que se observa que probablemente el simulador requiera de un regulador mas de presión y un indicador de presión(manómetro digital) con mayor precisión. Pero en general se prevé tendrá una muy aceptable eficiencia.

Económico. Este aspecto es fácilmente visible, ya que se reutilizará la mayoría de los materiales de la estructura, para esto también se realizó la cotización de los materiales y elementos que se utilizarán, y el costo de construcción de esta será reducido en un gran porcentaje, por consiguiente resultará ser un equipo económico, comparado con el costo de materiales nuevos.

Fácil desarmar. Esta característica es exclusiva para estructuras desarmables, especialmente las atornilladas como lo es el modelo elegido, para esto también se requirió observar el modelo gráfico del equipo completo, por este medio, se estima que requiera de 8 pasos, con un tiempo estimado de 12.5 minutos para desarmar completamente la estructura.

Rigidez. Se evaluaron los resultados que se obtuvieron en lo análisis de diseño realizados en la fase anterior, obteniendo como conclusión una rigidez aceptable en la estructura, de acuerdo con lo recomendado para cualquier elemento de una estructura por Robert L Mott. 1995.

Este proyecto de investigación, se presentará ante un jurado, al culminar todo el proceso que implica la realización del proyecto.

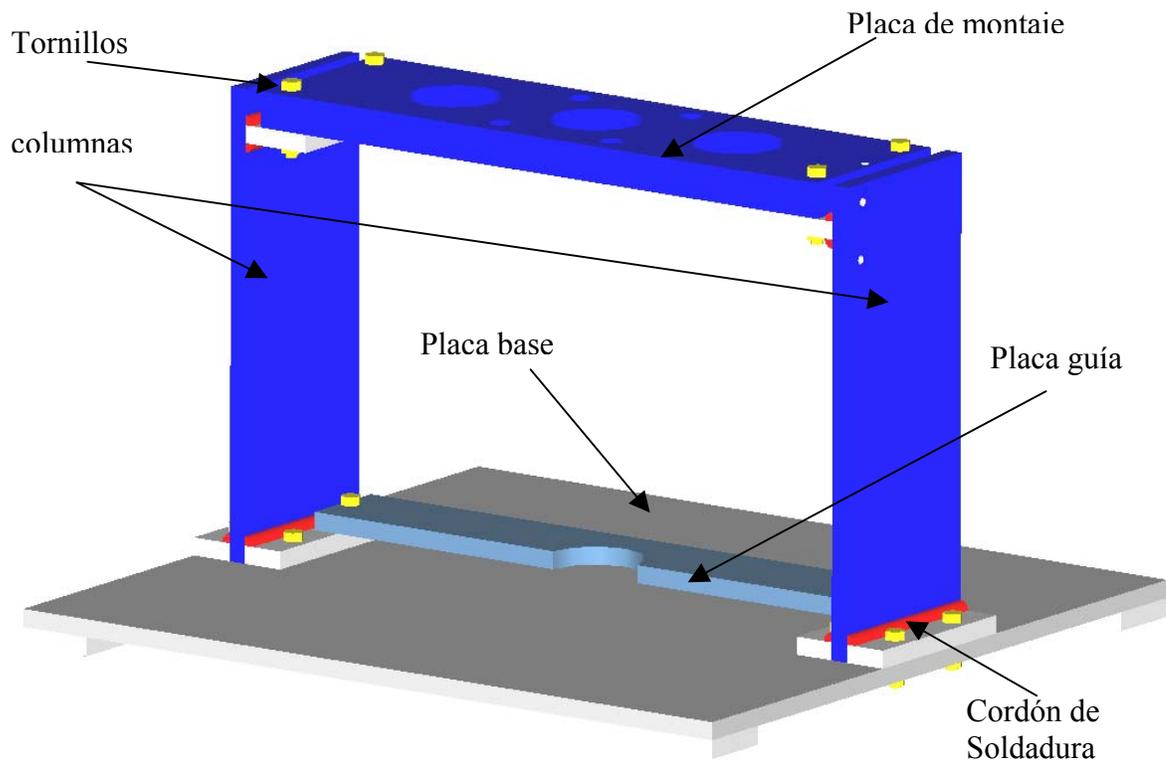


Figura 5.1 Partes de la estructura que se fabricará.

En la figura 5.1 se puede observar la forma real que tendrá la estructura, y además se aprecian las partes que componen la estructura que se ha decidido construir, así como también los puntos de ensamble que serán por medio de soldadura, y por medio de tornillos. Este gráfico es de gran ayuda para la plantación de la construcción, y evitar errores o contratiempos en la construcción.

3.2 Construcción

A partir de la cotización que se obtuvo de todos los materiales y equipo que se empleará en la construcción del simulador, se prosigue a determinar los procesos de manufactura que se aplicarán en la construcción de el simulador.

El proceso de construcción de la estructura se ejecutó en la primera parte en la empresa AFAMSA (Aceros, Fabricación y Maquilados. Sociedad Anónima) principalmente el corte de las placas, el maquinado se realizó en el taller de maquinado Muñiz, estos ubicados en la ciudad de Saltillo, y por ultimo se soldó y ensambló en el taller del departamento de maquinaria agrícola, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el montaje de los elementos del sistema neumático se llevo a cabo en el laboratorio de fluidica, de el departamento de maquinaria de la misma universidad.

En principio se obtuvieron las figuras con todas la dimensiones requeridas apoyándose de el modelo grafico de cada elemento de la estructura mostrados en el Apéndice C, para proceder a el corte de las placas, por medio de una guillotina como se muestra en la figura 5.2, para construir las columnas se cortaron dos piezas de 25 x 10cm, cuatro piezas de 10 x 3.8cm. y dos piezas de 10 x 2.5cm, para la placa base se corto una de 43.5 x 40 cm, una mas para la placa guía de 35.5 x 5 cm. y por ultimo una de 10 x 35 cm., destinada para la placa de montaje del pistón.



Figura 5.2 Corte de placa con guillotina.

El paso siguiente fué el maquinado de la placa de montaje del pistón, en donde se perforó el centro de la placa (figura 5.3) para que el estopéro del pistón embonara en la placa, y también se taladraron y machuelearon los orificios donde entran los tirantes del pistón, el ultimo trabajo de maquinado se efectuó a la placa guía en el centro de esta.



Figura 5.3 Maquinado de la placa de montaje en una fresadora.

Se continuó la construcción de las partes de la estructura, con el taladrado de los orificios para permitir el ensamble por tornillos, todas las placas pequeñas que serán parte de las columnas y se les hicieron dos perforaciones a cada una, en la placa guía se perforó una sola vez en cada extremo, y por último en la placa de montaje, se efectuaron dos orificios en cada extremo de la placa como se muestra en la figura 5.4.



Figura 5.4. Taladrado de orificios en las placas para los tornillos.

Para terminar la construcción de las columnas, se soldaron las placas pequeñas en los extremos de la placa mas grande, como se muestra en la figura 5.5.



Figura 5.5 Proceso de soldeo de placas

Una vez terminado el proceso de soldeo de los componentes de las columnas, se prepararon todas las partes de la estructura a excepción de la base, y se pintaron estas piezas con pintura gris de esmalte.

En lo que respecta a la base, ésta no se pintó por que se le colocó una lámina de aluminio en la superficie de la placa, por medio de pliegues en el contorno de la placa, y también se prepararon y se atornillaron las patas de nylamid a la base.

3.2.1 Ensamble

Ensamble de la estructura, se inicio cuando la pintura de las piezas ya se había secado completamente, este proceso se efectuó por medio de la tortillería, como se muestra en la figura 5.6, en la que se está atornillando la placa columna de la estructura.



Figura 5.6 Ensamble de las partes de la estructura.



Figura 5.7 Estructura ensamblada y pintada.

Ya terminado el ensamble como se observa en la figura 5.7, se prosiguió con el ensamblado y montaje de las partes del sistema neumático, primero se montó el regulador de presión cerca de la unidad de mantenimiento, como se muestra en la figura 5.8, por medio de tornillos y una placa de aluminio para montaje que se le adaptó. Enseguida se adecuó una placa de montaje a la válvula para ser instalada por tornillos en la estructura del simulador(figura5.9), a la cual también se le colocaron las conexiones de bronce, para enseguida conectar las mangueras neumáticas que se conectarán al pistón.

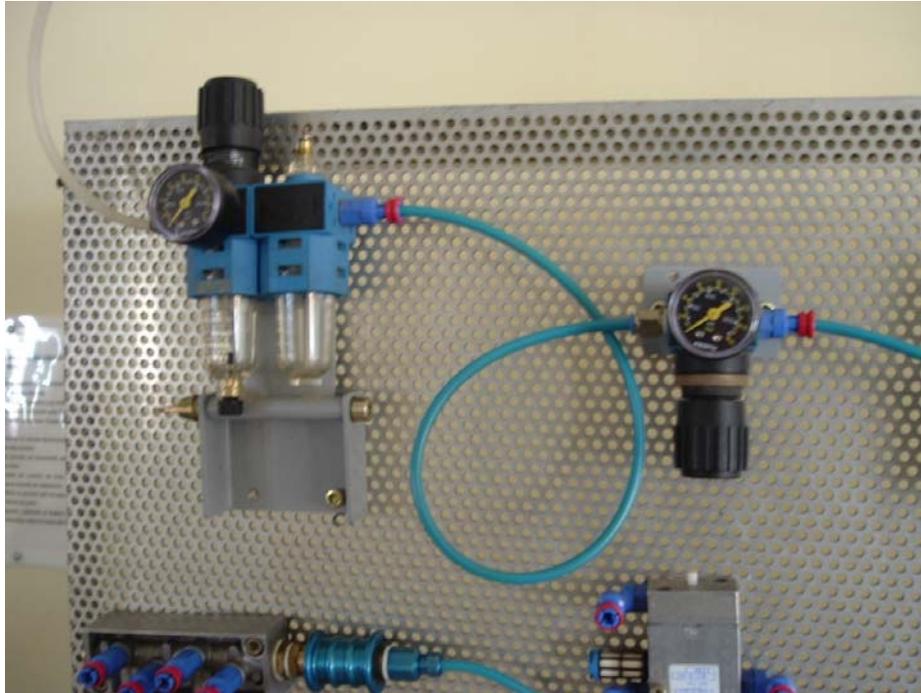


Figura 5.8 Regulador de presión instalado junto a la unidad de mantenimiento.



Figura 5.9 Preparación de la válvula direccional.

El manómetro se preparó conectándole la tee de bronce y a esta se conectaron los coples rápidos, para instalar la manguera neumática(figura 5.10), como todas las roscas de estos elementos son NPT (American National para tubos), fué necesario colocar cinta teflón en todas las roscas para lograr un sello en la uniones. También se requirió adaptar una base de montaje para poder colocar el manómetro de manera que resulte fácilmente visible al operador. Después de esta operación se instaló en la estructura del simulador.

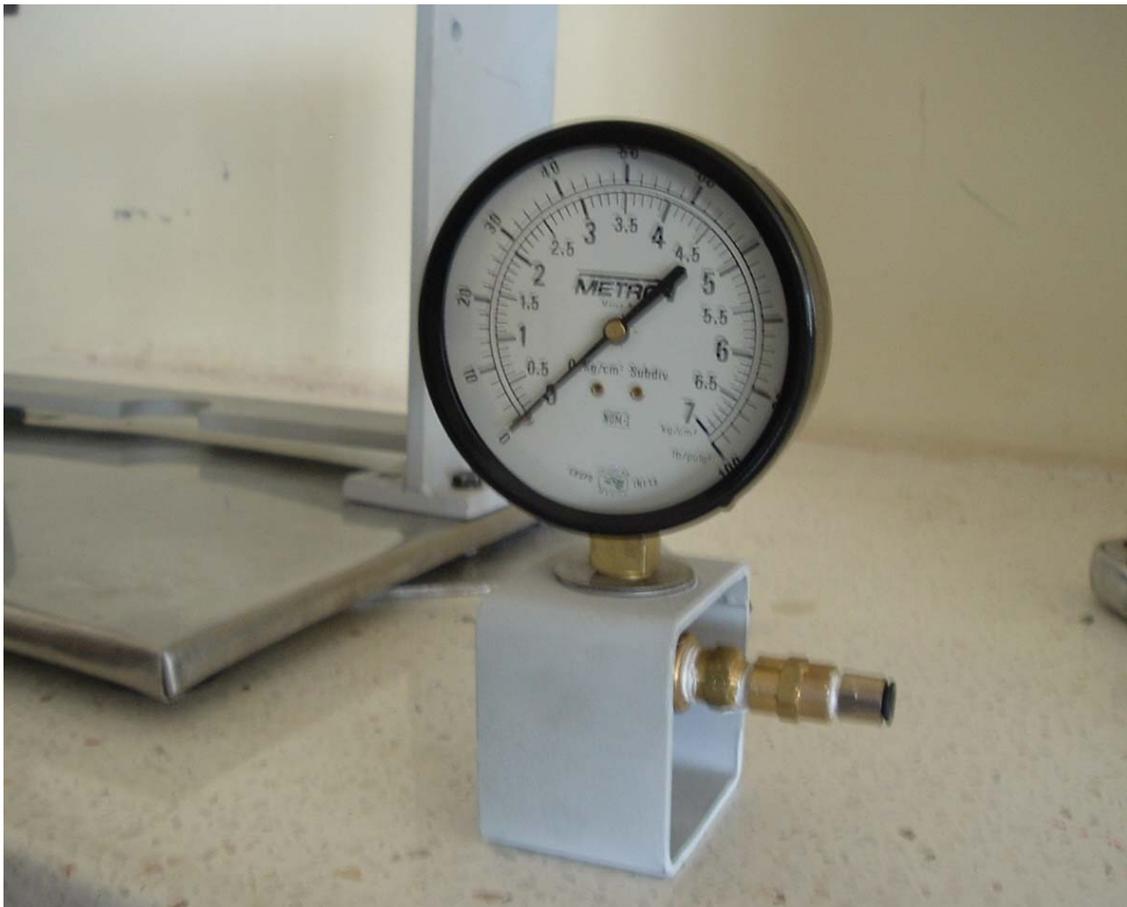


Figura 5.10 Manómetro listo para ser montado a la estructura.

Al culminar la preparación de todos los elementos mencionados y del pistón neumático, que se acondicionó con las conexiones de bronce y los coples rápidos (figura 5.11). Ya solamente resta instalar en la estructura todos los elementos del sistema neumático y conectarlos a través de el tubo flexible,

con esta operación se da por terminada la construcción de el simulador de compactación.



Figura 5.11 Pistón acondicionado para ser instalado en la estructura del simulador.

3.3 Materiales y Elementos Utilizados:

A continuación se enlistan los materiales y equipos neumáticos utilizados en la construcción del simulador de compactación:

- 1.- Cilindro neumático, modelo: (CAIBN 80-50-XA25B5).
- 2.- Válvula neumática direccional 5/2 accionada por botón, y retorno por resorte.
- 3.- Tubo flexible. (nylon tubing O.D. 6mm. I.D. 4mm.).
- 4.- Manómetro analógico (0 a 100 PSI).
- 5.- Placa de acero (A1045 rolado en caliente).
- 6.- Tornillos (.25pulg. de diámetro, acero grado 5).
- 7.- Regulador de presión.
- 8.- Conectores rápidos (racores) para tubo flexible de 6mm.
- 9.- Conexiones de bronce.
- 10.- Tee cople de acero.
- 11.- Unidad compresora.
- 12.- Unidad de mantenimiento del sistema.
- 13.- Placa de nylamid.
- 14,. Placa de aluminio calibre 10.
- 15.- Tornillos cabeza avellanada de 25pulg. (6.35mm). de diametro

3.4 Herramientas Empleadas Para la Construcción:

- 1.- Soldadura (E6013, 3.17mm 0.125pulg.de diametro).
- 2.- Maquina de soldar.

- 3.- Taladro de banco.
- 4.- Flexómetro.
- 5.- Herramientas manuales (llaves).
- 6.- Pulidora.
- 7.- Machuelo.
- 9.- Lijas .
- 10.- Fresadora.
- 12.- Martillo.
- 13.- Dados de 0.75, y 0.375pulg. de diámetro.
- 14.- Tijeras para corte de lamina.
- 15.- Segueta.
- 16.- Taladro.
- 17.- Vernier.
- 18.- Pinzas de presión.
- 19.- Tornillo de banco.
- 20.- Cinta teflón.

3.5 Costos

Cuadro 5.1 Lista de precios de los componentes utilizados para la construcción del equipo.

| Componente: | Cantidad | Precio U. | Total |
|---|------------------------|-----------|-------------|
| | | | |
| Cilindro neumático, modelo:(CAIBN 80-50-XA25B5) | 1pza. | 2,300.000 | 2,300.000 |
| Válvula neumática direccional 5/2 mecánica. | 1pza. | 789.800 | 789.800 |
| Manguera neumática (nylon tubing O.D. 6mm.). | 2.61m. | 16.000 | 41.760 |
| Manómetro analógico (0 a 100 PSI). | 1pza. | 119.000 | 119.000 |
| Válvula reguladora de presión, (variable). | 1pza. | 324.000 | 324.000 |
| Conectores rápidos (para tubo flexible de 6mm.). | 5pzas. | 24.000 | 120.000 |
| Conexiones de bronce (reductor0.375y0.187pulg.) | 2pzas. | 38.000 | 76.000 |
| Tee cople de bronce (cople 0.375pulg. de diametro) | 1pza. | 44.000 | 44.000 |
| Placa de nylamid (9.52mm, 0.375pulg. de diametro) | 0.007853m ² | 779.140 | 16.497 |
| Placa de aluminio calibre 10(3.4mm.). | 0.18235m ² | 1,203.000 | 147.748 |
| Placa de acero (A1045 rolado en caliente 0.37pulg) | 0.2405m ² | 2,445.000 | 217.786 |
| Placa de acero (A1045 rolado en caliente 0.75pulg.) | 0.0351m ² | 5,780.000 | 75.140 |
| Tornillos (0.25pulg de diámetro, cabeza avellanada) | 6pzas. | 0.660 | 3.960 |
| Tornillos (0.25pulg de diámetro, acero grado 5). | 12pzas. | 0.520 | 3.120 |
| | | Total = | \$4,278.811 |

A esta cantidad se le agrego el IVA = \$ 641.821, dando un total de: **\$ 4,920.6**

IV RESULTADOS

4.1 Descripción y Características

Los resultados que se obtuvieron con el presente trabajo fué la construcción de un simulador de compactación, en la estructura de este equipo se logró obtener una excelente rigidez, ya que fué una característica establecida en el diseño, para contribuir al cumplimiento de los objetivos principales del simulador, de tal manera que con la rigidez obtenida se logrará que el equipo funcione con seguridad.

4.1.1 Funcionamiento

El mecanismo principal del equipo es el movimiento lineal que efectúa el vástago al momento de salir del cilindro neumático, por la presión que ejerce el aire comprimido sobre la superficie de el émbolo que está unido al vástago. Este desplazamiento produce la compactación al entrar en contacto con la muestra de suelo.

La construcción del simulador consta de una estructura de acero soldada y atornillada que sostiene un pistón neumático, el cual es controlado por medio de una válvula direccional. Siendo parte del equipo un manómetro que indica la presión a la que se está trabajando. De manera externa se tiene un regulador de presión para calibrar el simulador y también una unidad de mantenimiento del sistema neumático, que no es parte del equipo simulador, pero es indispensable en cualquier sistema neumático.

4.2 Elementos que Componen el Equipo de Simulación

El armazón del equipo lo podemos separar en dos partes principales, que son: La estructura y El sistema neumático. Donde cada uno de los elementos (figura 6.1) se concluyó con las siguientes características.

4.2.1 La estructura

La estructura se compone de cuatro elementos principales, que son:

- 1. La viga de montaje del pistón.**
- 2. La placa guía.**
- 3. Las placas columna.**
- 4. La placa base.**

La placa de montaje del pistón es de acero AISI 1045 con un espesor de 19.05mm (0.75 pulgada), en esta se monta el pistón exactamente a la mitad de la placa, por medio de los tirantes de montaje del pistón, esta placa es ensamblada por medio de tornillos en sus extremos a las columnas que están atornilladas a la placa base.

La placa guía tiene la función de centrar el cilindro de la muestra o núcleo, para que el émbolo compactador del simulador entre exactamente en el cilindro y compacte la muestra de suelo (Figura 6.2). Esta placa se construyó con un acero AISI 1045 con un espesor de 19.05mm (0.75 pulgadas).

Las placas columna se construyeron con acero AISI 1045 con un espesor de 9.525mm (.375 pulgadas) y soldadas a sus extremos unas placas del mismo material, para posteriormente ser atornilladas en sus extremos a la placa base, y también a la placa que sirve de montaje del pistón.

La placa base es de acero AISI 1045 de 9.525mm (.375 pulgadas) de espesor la cual se le instalo una lámina de aluminio calibre 10, para dar protección y estética, también cuenta con cuatro patas de nylamid con un espesor de 9.525mm (.375 pulgadas) para mejorar la movilidad y manejo del equipo así como la estética del mismo.

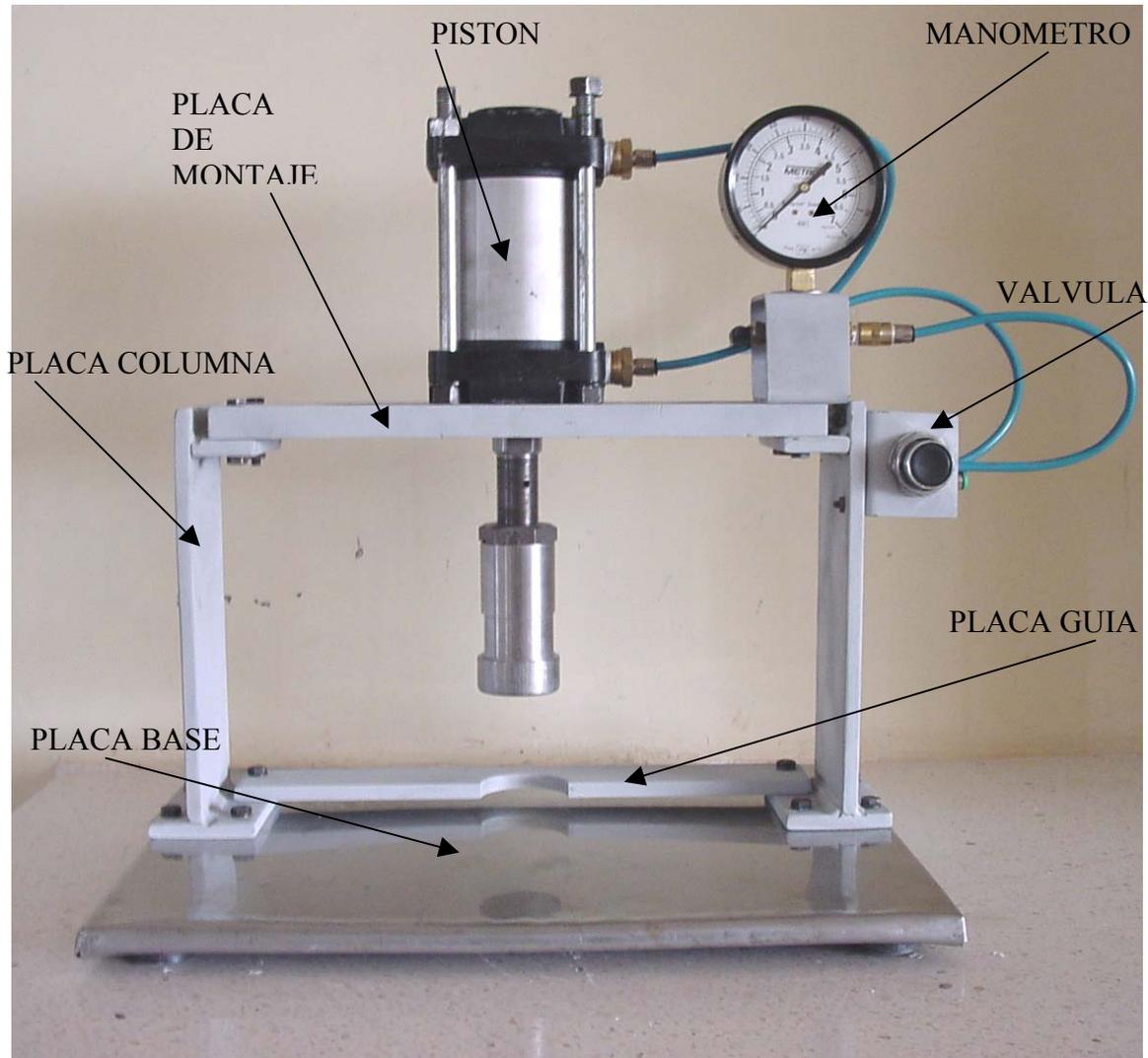


Figura 6.1 Construcción del equipo de simulación de compactación de suelo, completamente terminado e indicando cada elemento que lo compone.

4.2.2 El sistema neumático

Este sistema cuenta con cuatro elementos principales que son:

- 1. El pistón.**
- 2. El manómetro.**
- 3. La válvula direccional.**
- 4. La válvula reguladora de presión.**

El pistón, este puede alcanzar una presión máxima de 1000 KPa, y es el elemento que realiza el trabajo de compactar la muestra de suelo, por medio del embolo que entra en el cilindro que contiene el suelo.

El manómetro, tiene una lectura de 0 a 100 psi (libras sobre pulgada cuadrada), es el elemento que indica la presión con la que se esta trabajando, y que se determinó de acuerdo a el tipo de prueba que se esté realizando.

Válvula direccional, es una válvula cinco vías dos posiciones, accionada por botón, la cual sirve para accionar la salida y la entrada del vástago del pistón, Cuando se oprime el botón sale el vástago, y cuando se deja de oprimir, el vástago entra.

La válvula reguladora de presión variable, esta válvula se colocó fuera del equipo, junto con la unidad de mantenimiento, y esta válvula sirve para regular la presión del equipo en conjunto con el regulador de presión que se encuentra en la unidad de mantenimiento y observando la lectura en el manómetro.

Todos estos elementos que conforman el sistema neumático del equipo son conectados por medio de tubo flexible, el cual conduce el aire comprimido hacia el elemento actuador que es el pistón.

4.3 Resultados en los Criterios de Diseño

Los resultados que se obtuvieron con los criterios de diseño fueron observados y comprobados con el funcionamiento de el simulador como se describen a continuación, por lo cual se concluye que son muy aceptables.

Fácil calibración, como se puede observar mas adelante, el procedimiento de calibración costa de 4 pasos y se tomó el tiempo, donde encontramos un promedio de 9 minutos, lo que indica que al final se consiguió tener el simulador con un tiempo breve de calibración, como se tenía contemplado.

Eficiente y eficaz, al observar y probar su funcionamiento, se concluyó que realmente el equipo cumplía el objetivo principal que es compactar la muestra de suelo, y eficiente por que todas las partes realizaron su función correctamente.

Económico, como ya se mencionó el consto de los materiales fue de 4,920.6 pesos, mas el costo de mano de obra que es de 324.9 pesos, nos da un total de 5,245.6 pesos el costo total de construcción de todo el simulador, que es una cantidad pequeña, en comparación con el costo de simuladores en el mercado.

Fácil desarmar, el numero de pasos con los que se desarmo el equipo fueron 8 y el tiempo que implicaron esos pasos fue de 12 minutos,

lo que nos da como resultado un tiempo corto para desarmar completamente el simulador.

Rigidez , el comportamiento que tuvo al poner en funcionamiento el equipo fué una total rigidez, ya que ninguno de sus elementos presentó movimiento o deflexión.

4.4 Procedimiento de Pruebas

Al terminar la construcción del equipo es necesario establecer un procedimiento para la realización de pruebas de simulación de compactación de suelo con este equipo de laboratorio, este procedimiento esta constituido por un conjunto de pasos que son indispensables para garantizar un buen funcionamiento del equipo, y con ello conseguir resultados confiables en la medición o calculo de datos de interés en las muestras de suelo, estos pasos se describen de la siguiente manera:

- 1.- Determinar la presión de compactación del suelo.**
- 2.- Calcular la presión requerida por simulador, para alcanzar la compactación deseada del suelo.**
- 3.- Calibrar el simulador de compactación.**
- 4.- Una vez calibrado el simulador, se coloca la muestra en la ranura de la placa guía del simulador.**
- 5.- Se acciona el botón para compactar la muestra durante cinco segundos.**
- 6.- Se libera el botón y se retira la muestra.**

Posición de el cilindro que contiene la muestra de suelo(figura 6.2). El cilindro se coloca en la ranura de la placa guía, donde la muestra de suelo esta lista para ser compactada, y se observa una placa de metal debajo del cilindro, que sirve para tener un buen manejo de la muestra, ya que puede caerse parte de la muestra al colocarla o al retirarla del simulador.



Figura 6.2 Muestra de suelo lista para compactarse.

4.4.1 Calculo de la presión requerida por el simulador

Este calculo es muy sencillo, solamente se resuelve la siguiente formula:

$$P_s = 0.375159 (P_c)$$

Donde:

P_s = presión requerida por el simulador.

P_c = presión de compactación del suelo.

4.4.2 Procedimiento para la calibración

1.- El primer regulador de presión se ajusta para que regule la presión un 50% más de la requerida por el simulador.

2.- Se oprime el botón que pone en funcionamiento el pistón del simulador.

3.- Se mantiene accionado el botón y utilizando el segundo regulador de presión, se ajusta la presión exacta requerida por el simulador, la cual se observa en el manómetro que esta en el simulador.

4.- Se pone en operación el pistón dos o tres veces, y se deja presionado el botón durante ese momento se revisa que la presión sea la correcta, si no es así, se ajusta con el segundo regulador de presión.

Nota: para tener un manejo adecuado de las muestras de suelo, se recomienda poner bajo la muestra papel (copacillos), y si es posible también una superficie plana y rígida (placa de metal).

4.4.3 Pruebas de compactación

El simulador de compactación comprobó su utilidad al apoyar dos trabajos de investigación en los cuales realizaron su tesis de licenciatura los alumnos Miguel A. Márquez Castillo y Mario S. Ríos Camey. El equipo se utilizó para simular en laboratorio la carga por el paso de maquinaria en diferentes texturas de suelo y contenidos de humedad.



Figura 6.3 Simulación de compactación de muestras de suelo

V CONCLUSIONES

Los resultados del diseño y la construcción del simulador de compactación, son muy aceptables, de manera que es funcional, y se lograron los objetivos de operación del simulador.

Los criterios de diseño, que se consideraron para este equipo de laboratorio, concordaron con los resultados obtenidos con la construcción.

Es muy importante realizar todo el proceso de diseño y de construcción de manera muy cuidadosa, para no cometer errores que podrían causar mucho daño en el proceso, como la pérdida de tiempo, dinero, etc.

El simulador de compactación que se construyó es muy útil para muchos proyectos de investigación, que en la actualidad se están desarrollando.

La calibración del simulador, resultó más sencilla de lo que se esperaba, sin embargo es posible que algunos trabajos de investigación requieran de un proceso de calibración mucho más rápido y preciso, para esto es necesario buscar algún elemento neumático, de tecnología digital, que sustituya el regulador manual y el manómetro, para que se efectúe una selección de presión, de manera automática.

VI LITERATURA CITADA

- Depper, W., 2000 “Aplicación de la neumática”. Editorial alfa omega
- Edward Shigley Joseph, Charles R. Mischke, 1990. “Diseño en Ingeniería mecánica”. Editorial Mc Graw Hill.
- Fitzgerald Robert W, 1990. “Mecánica de materiales”. Editorial Alfaomega
- Hibbeler R. C., 1997 “Mecánica de materiales”. 3ª edición, Editorial Prentice hall
- Jiménez Salas, 1997 “Tierras y Rocas Compactadas”. Editores Técnicos Asociados
- L. Mott Robert, 1992 “Diseño de elementos de maquinas” 2ª edición, Editorial Prentice hall.
- L. Norton Robert, 1995. “Diseño de maquinaria”. Editorial Mc Graw Hill
- Meixner H./Kobler R , 1988 Manual de Estudio de Festo “Introducción en la neumática”
- Microsoft Corporation. 1993-2003 Encarta 2004
- Narro Farias Eduardo, 1994. “Física de suelos con enfoque agrícola”. Editorial Trillas
- Parker, 2004 “Principios básicos de la neumática” Automatización total.
- S. Hall, A. R. Holowenco y H. G. Laughlin “Diseño de maquinas”. Serie Schaum. Editorial Mc Graw Hill
- V. M. Faires , 1987 “Diseño de elementos de maquinas”. Editorial UTEHA

Páginas Web Consultadas

- Apuntes de neumática
<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica7.htm>.
- Compresores
<http://www.geocities.com/MadisonAvenue/6883/trabajos/8compresores/compresores98.htm>
- Cursos de geotécnica
http://www.fing.edu.uy/iet/areas/geotecnica/cursos/mec_suelos/mat_didactico/compactacion.ppt
- Infoagro 2002
http://www.abcagro.com/riego/compactacion_suelos.asp
- Ingeniería civil y arquitectura
<http://construaprende.com/Lab/15/Prac15.htm>
- INTA instituto de suelos
<http://www.insuelos.org.ar/servicios/instrumental-de-campo.htm>
- Mauricio Barrera Bucio et. Al. (2004)
<http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/pubtec/pt239.pdf>
- Mecánica de suelos
<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica7.htm>
- Mecánica de suelos
http://www.ibertest.es/es_svge1_principal.htm
- Mecánica de suelos
<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/mecanica6.htm>
- Productos2004
<http://www.elvec.com.mx/suelos01.html>
- Sistemas neumáticos
http://www.viagenius.edu.pe/Oficina/Sistemas_Neumaticos.html

VII APENDICES

APÉNDICE A

CALCULOS DE NEUMATICA

FUERZA DEL PISTON

Para un pistón de doble efecto, la fuerza se calcula de la siguiente manera:
Fuerza en el avance.

$$F_n = A \cdot P - F_r$$

F_n = fuerza real del pistón (lbs)

A = área del embolo (pulg²)

P = presión de trabajo (lbs)

F_r = fuerzas de rozamiento (de 3 a 20% de la fuerza teórica)

(las fuerzas de rozamiento F_r. en este caso se despreciaron, por la posición que tiene el pistón)

$$F_n = (7.791 \text{plg}^2)(142.2 \text{psi}) = 1107.88 \text{lbs} = \boxed{502.66 \text{kg. esto es igual a } 4,930.5 \text{N.}}$$

CONSUMO DE AIRE DEL PISTON

Tomado del nomograma del consumo de aire: (Apéndice A1)

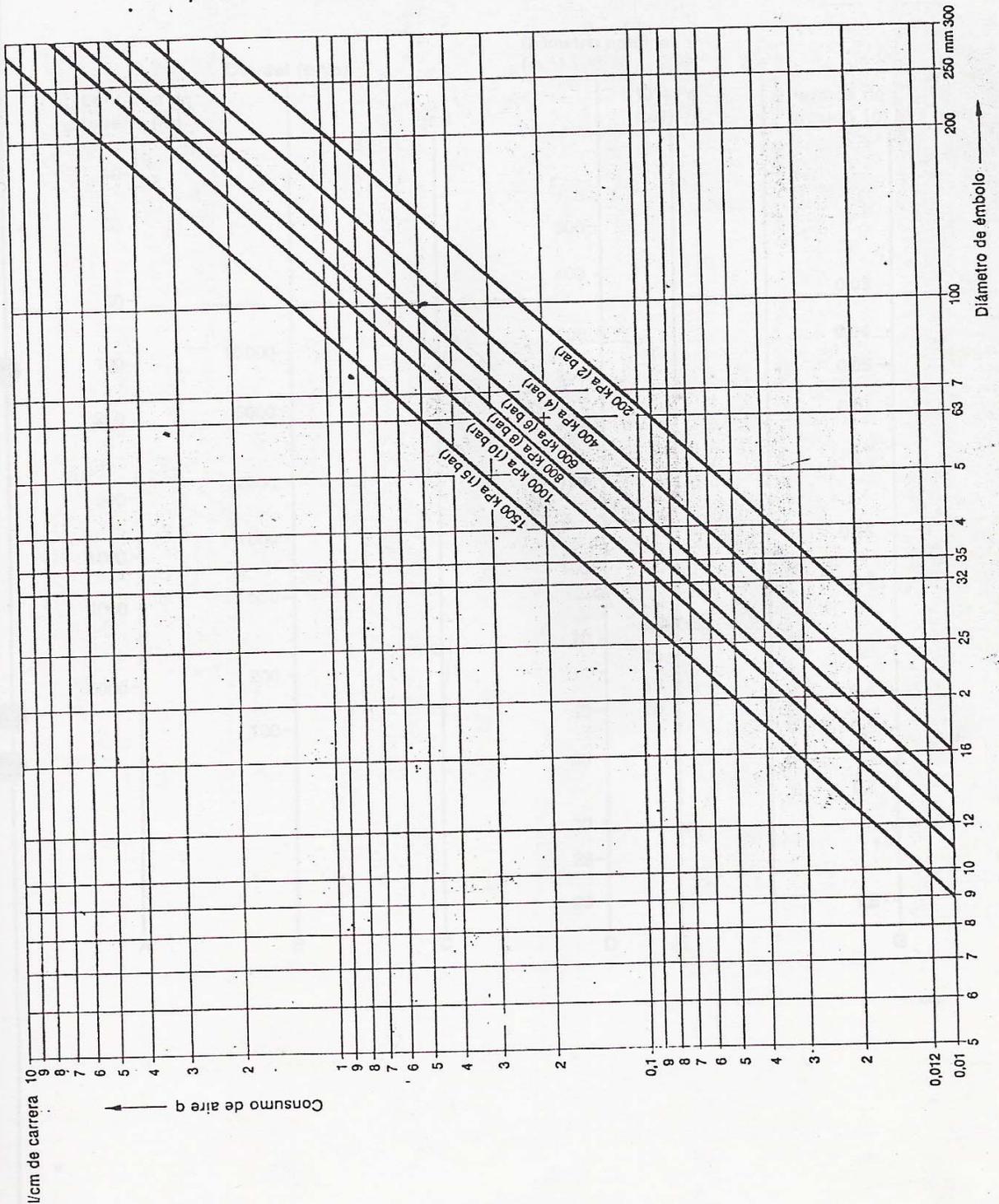
A partir del diámetro del embolo en mm. (80mm)

Y la presión que se emplea. (presión máxima. 1Mpa.)

Lo cual nos da un consumo de aire de 5.5 Litros por cada ciclo del pistón.

APÉNDICE A1

Figura 72: Diagrama de consumo de aire



APÉNDICE B

Calculos de diseño:

Como la placa de montaje del pistón actúa como una viga apoyada en pernos.

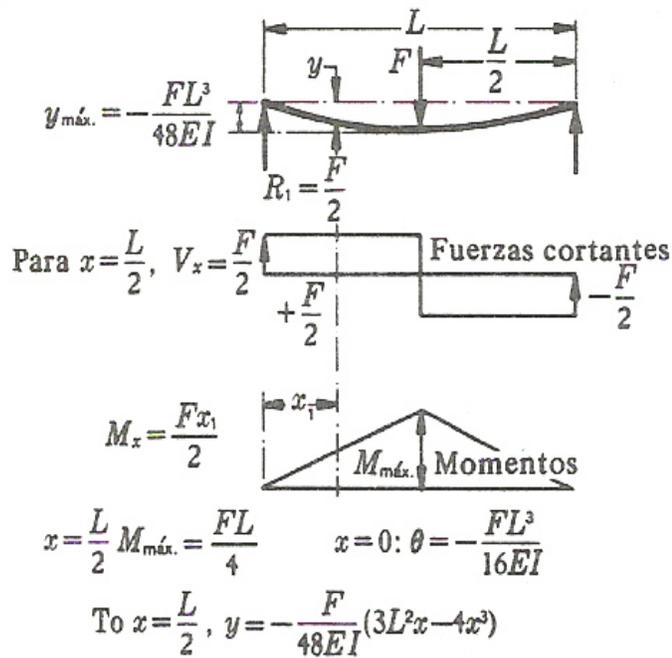


Diagrama de análisis.

$$V_x = \frac{F}{2} = \frac{500}{2} = 250 \text{Kg.}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{FL}{4} = \frac{(500)(35.1)}{4} = 4,387.5 \text{Kg.cm}$$

$$Y_{\text{max}} = \frac{FL^3}{48EI} = \frac{(500)(35.1)^3}{(48)(2.926)(2,040,462.2)} = .0754 \text{cm.}$$

Donde:

Y_{max} = Deformación máxima.

F = Carga aplicada. (500Kg.)

L = Longitud de la viga. (35.1cm.)

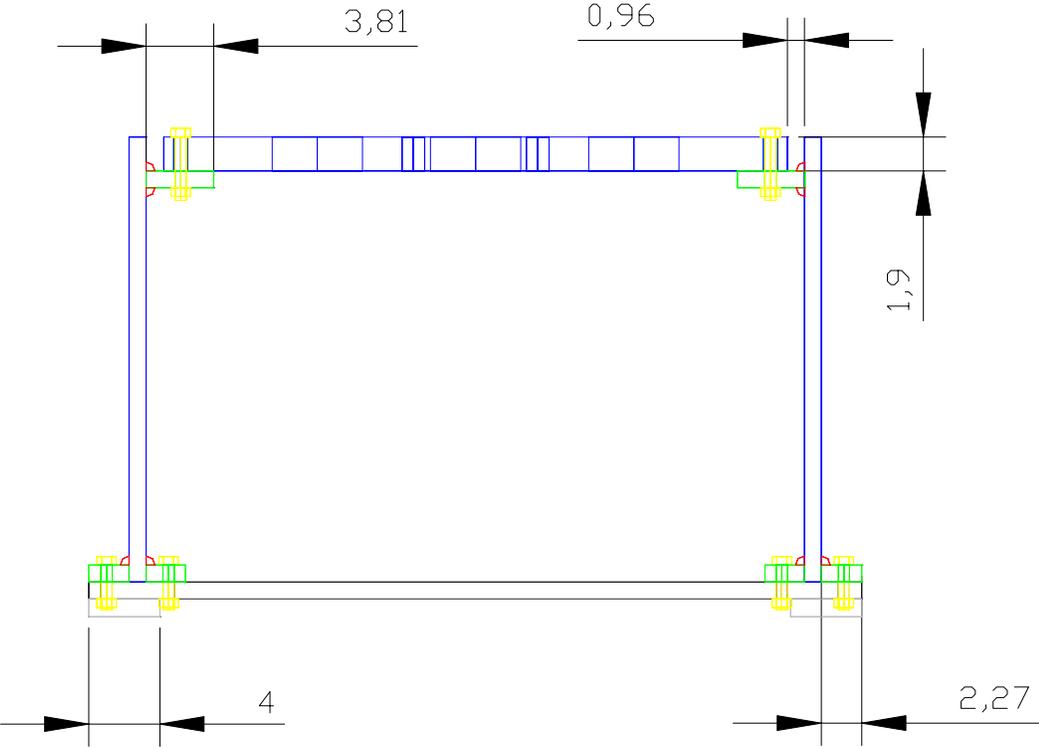
E = modulo de elasticidad del material. (200Gpa.)

I = Momento de inercia. (2.926cm⁴)

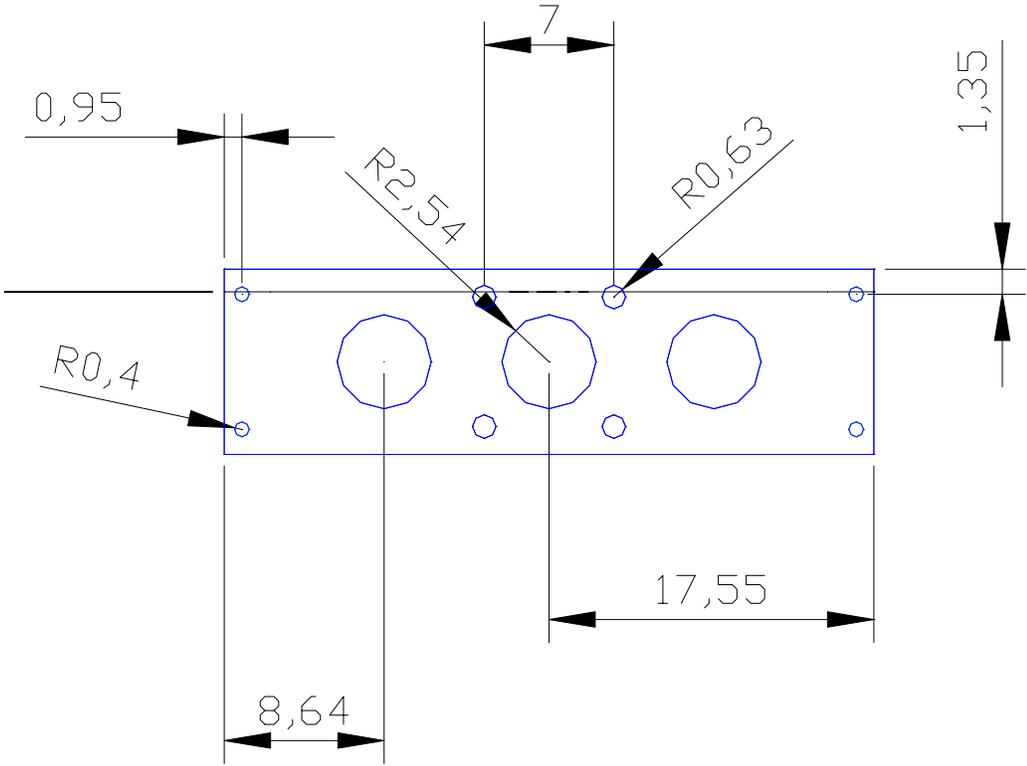
APÉNDICE C

Dibujos de diseño

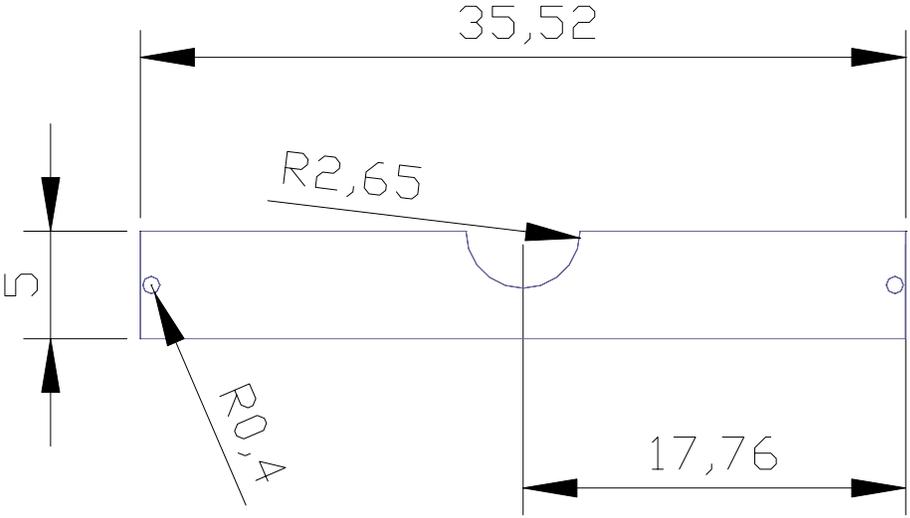
**DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA,
VISTA FRONTAL.**



**DIMENSIONES DE LA PLACA DE MONTAJE DEL PISTON,
ESPESOR 19.05mm. (:75pulgadas)
VISTA SUPERIOR.**

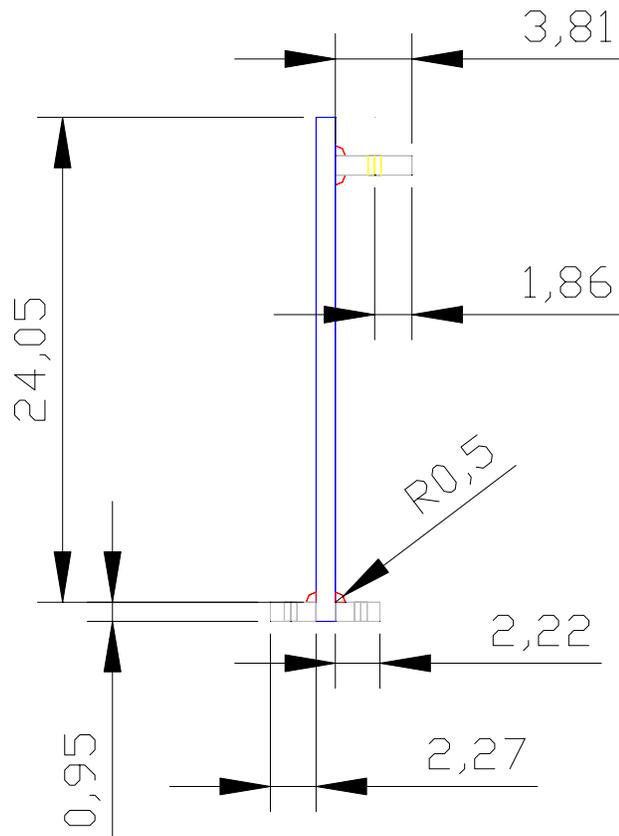


DIMENSIONES DE PLACA GUIA
ESPESOR 9.525mm (.375 Pulgadas)
VISTA SUPERIOR.

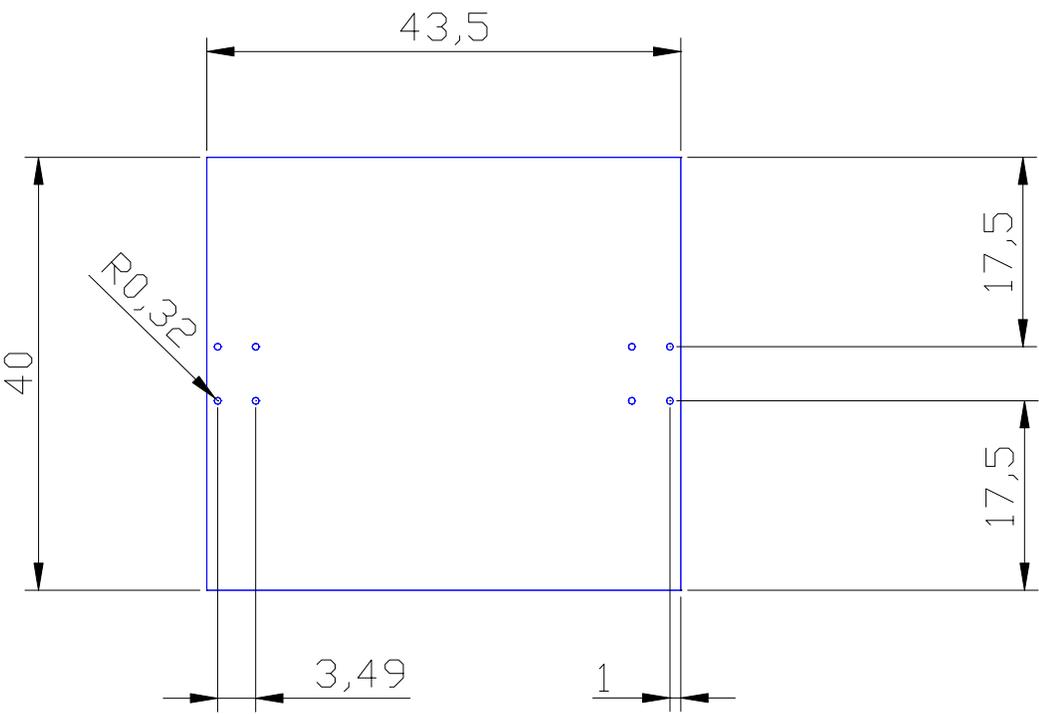


DIMENSIONES DE PLACA COLUMNA

DOS PIEZAS,
ESPESOR 9.525mm.(.375 Pulgadas)
VISTA LATERAL



**DIMENSIONES DE LA PLACA BASE,
ESPESOR.9.525mm.(.375 Pulgadas)
VISTA SUPERIOR.**



**IMAGEN DE DISEÑO,
EQUIPO COMPLETO,
VISTA EN ISOMÉTRICO.**

