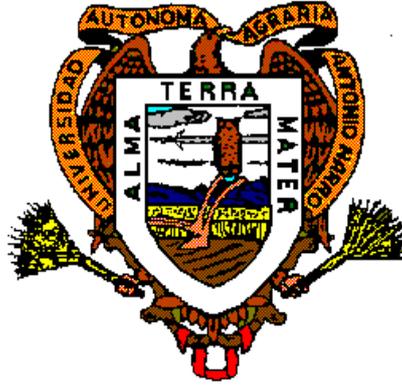


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ ANTONIO NARRO ”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



Diseño de una Maquina Preparadora para Muestras de Suelo

Por:

JOSE JERONIMO CRUZ GARCIA

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN MAQUINARIA AGRÍCOLA

Buenvista , Saltillo, Coahuila, México.

Septiembre de 1998

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Diseño de una Maquina Preparadora para Muestras de Suelo

Por:

JOSE JERONIMO CRUZ GARCIA

TESIS

**Que Somete a la Consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título de**

INGENIERO AGRÓNOMO EN MAQUINARIA AGRÍCOLA

Aprobada por el Comité de Tesis

Asesor Principal

M.C. Héctor Uriel Serna Fernández

Sinodal

Sinodal

M.C. Juan A. Guerrero Hernández.

Ing. Tomas Gaytan Muñíz

Coordinador de la División de Ingeniería

M.C. Jesús R. Valenzuela García

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Septiembre de 1999**

AGRADESIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" por haberme abierto las puertas y así lograr esta mi profesión a nivel superior.

A mis maestros: Por haber participado en mi formación y por la amistad que de muchos de ellos obtuve.

A el M.C Héctor Uriel Serrna Fernández por su gran amistad y apoyo durante mis estudios, al igual que para el logro de este trabajo de tesis.

De igual forma al M.C Juan Antonio Guerrero Hernández y al Ing. Tomas Gaytan Muñíz por su colaboración para el logro de este trabajo.

A mis amigos: Por brindarme su amistad y apoyo durante mi carrera.

Agradezco también a la familia Melchor Alvarado por todo lo que hicieron por mi especialmente a Ma. Del Carmen Melchor Alvarado por brindarme todo su apoyo incondicionalmente.

DEDICATORIA

Para aquellos autores anónimos de tantos logros y que este no es mas que otro de ellos, para aquellos que de desvelos y preocupaciones lograron todo lo que hay detrás de este trabajo de tesis; a ellos que son mis padres Teresa García Palma y Jerónimo Cruz Navarro, dedico con todo respeto, cariño y admiración este trabajo de tesis.

De igual forma dedico el presente trabajo a mis hermanos:

Francisco

Dolores

Manuel

María Elena

Esteban

Susana

Miguel

Rosalía

Germán

Julia

Teresa

INDICE DE CONTENIDO

AGRADESIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS	iv
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	vi
I.- INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
II.- REVICION DE LITERATURA	4
2.1 COMPONENTES DEL SUELO	4
2.1.1. FASE SOLIDA	4
2.1.2. LA MATERIA ORGANICA EN EL SUELO	6
2.1.3. FASE LIQUIDA DEL SUELO.....	7
2.1.4. FASE GASEOSA	8
2.2. PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO IMPORTANTES PARA LA AGRICULTURA	8
2.2.1. TEXTURA	8
2.2.2. SUPERFICIE ESPECIFICA	14
2.2.3. ESTRUCTURA	16
2.2.4. ESTABILIDAD ESTRUCTURAL	24
2.2.5. CONSISTENCIA DEL SUELO	26
2.2.6. DENSIDAD DE PARTICULAS DEL SUELO (Ds)	29
2.2.7. DENSIDAD APARENTE (Da)	31
2.2.8. RESISTENCIA DEL SUELO AL ESFUERZO CORTANTE	33
2.2.9. COMPRESION-COMPACTACIO	34
2.3. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO PARA ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS	35
2.3.1 MUESTREO	35
2.3.2. INSTRUCCIONES DE MUESTREO	36
2.4. REDUCCION DE TAMAÑOS	37
2.5. TIPOS DE TRITURADORES	38
2.5.1 TRITURADORES DE PIEDRAS	38
2.5.2. TRITURADORES DE PERCUCION O DESINTEGRADORES	39

2.5.3. TRITURADORES DE RODILLOS	41
2.6. TIPOS DE SEPARADORES	43
2.6.1 SEPARADORES DE ZARANDA PLANA	43
2.6.2. SEPARADORAS CILINDRICAS O POLIGONALES	43
2.6.3. SEPARADORA DE SUPERFICIE ALVEOLADA	43
2.6.4. SEPARADORA DE SUPERFICIE INCLINADA	44
III.- MATERIALES Y METODOS	45
3.1. MATERIALES	45
3.2. METODOS	46
3.3. FUNCIONAMIENTO	48
3.4. CALCULOS DE DISEÑO	50
3.4.1. DISEÑO DE EJES	50
3.4.2. DISEÑO DE LA TRANSMISION DE POTENCIA	58
3.4.3. DISEÑO DE CUÑAS	59
3.4.4. DISEÑO DE POLEAS	63
3.4.5. DISEÑO DEL RESORTE	64
IV.- RESULTADOS	67
V.- DISCUSIÓN	69
VI.- CONCLUSION	70
VII.- RESUMEN.....	71
VIII.- LITERATURA CITADA	72
IX.- APENDICES	74
▪ APENDICE A.....	75
▪ APENDICE B.....	77
▪ APENDICE C.....	100
▪ APENDICE D.....	102
▪ APENDICE E	104
▪ APENDICE F.....	106

INDICE DE CUADROS

CUADRO 2.1. TAMAÑO DE TERRONES DE ACUERDO AL TIPO DE ESTRUCTURA.....	18
CUADRO 2.2. CASIFICACION DE TERRENOS POR SU COHESIÓN	23
CUADRO 2.3. VALORES DE DENSIDAD DE PARTICULAS SOLIDAS ENCONTRADAS EN SUELOS AGRICOLAS.....	29
CUADRO 2.4. VALORES DE DENSIDAD APARENTE SEGUN LA CLASE TEXTURAL.....	31
CUADRO 3.1. MATERIALES PROPUESTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUINA PREPARADORA PARA MUESTRAS DE SUELO Y SUS COSTOS	45
CUADRO 3.2. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL NYLAMID “M” (BARRA CILINDRICA).....	47

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 3.1. TRANSMISION DE POTENCIA POR CADENA	51
FIGURA 3.2. MAGNITUD Y DIRECCION DE LAS FUERZAS CAUSADAS POR LA TRANSMISION POR CADENA EN EL RODILLO "A"	52
FIGURA 3.3. DIAGRAMA DE CORTE Y MOMENTOS EN EL RODILLO "A"	55
FIGURA 3.4. MAGNITUD Y DIRECCION DE LAS FUERZAS CAUSADAS POR LA TRANSMISION POR CADENA EN EL RODILLO "B"	56
FIGURA 3.5. DIAGRAMAS DE CORTE Y MOMENTOS EN EL RODILLO "B"	57

I.- INTRODUCCION

La mayoría de las actividades humanas se realizan de alguna u otra manera sobre la porción superficial de la litosfera, tal es el caso de la producción de alimentos.

A esta porción se le denomina suelo, el cual es un complejo dinámico, formado por una capa más o menos delgada de material disperso, del cual depende en buena parte el crecimiento de las plantas y la alimentación de los seres vivos que habitamos la superficie terrestre.

Por lo anterior, es importante tomar en cuenta sus propiedades físicas y químicas, con el fin de aprender a manejar estas de acuerdo con los requerimientos de los cultivos.

Para esta finalidad existen procedimientos de laboratorio con el objeto de determinar dichas propiedades. Estos procedimientos involucran la extracción y preparación de muestras obtenidas de suelos en forma representativa.

Dentro de dichos procedimientos, se especifica la separación de los agregados del suelo (terrones), con el fin de conocer una de sus principales características como es la textura; esta separación no debe de afectar la distribución granulométrica de la muestra ya que se afectaría el resultado de la misma.

Esta separación se realiza generalmente en forma manual, triturando los terrones con rodillos de madera o por otros medios químicos y haciéndolos pasar por una malla para obtener así solo los tamaños de partículas útiles.

Por lo que este trabajo tiene como finalidad el de diseñar una maquina, que pueda realizar dichas acciones en forma efectiva.

1.1 ANTECEDENTES

Los procedimientos para la determinación de algunas propiedades físicas importantes del suelo, como es la textura, estructura, plasticidad, etc., se desarrollan a partir de análisis mecánicos efectuados en laboratorio.

Se han empleado varios métodos de dispersión, a fin de medir su efectividad en la determinación de la composición del suelo en sus porcentajes de arena limo y arcilla.

Los pasos de dichos procedimientos, involucran una preparación de las muestras de suelo. Como es el separado de las partículas del suelo que se encuentran formando agregados, pero que se les puede separar por métodos químicos o mecánicos.

Dentro de los químicos se usan reactivos para extraer los agentes cementantes, y elevar el potencial electrocinético, de modo que las partículas permanezcan dispersas.

Tanto los métodos de dispersión mecánica pueden ser por agitación en agua, golpeo, triturar con rodillos de madera, agitación con chorros de aire y otros. Posteriormente el material así tratado se somete a un cribado para obtener los tamaños de partículas requeridas para poder ser utilizadas en las determinaciones de características físicas de suelos.

Algunos de estos procedimientos como es el caso del rodillo de madera, se siguen utilizando en ciertos laboratorios, haciéndose un problema para aquel investigador que requiera hacer estas determinaciones físicas ya que es tedioso tratar gran número de muestras en forma manual. Por lo que se requiere un equipo que realice este trabajo mecánico en la preparación de dichas muestras para su posterior utilización.

1.2 OBJETIVOS

- 1.** Diseñar una máquina para separar los agregados en sus componentes menores contenidos en una muestra de suelo.
- 2.** Aportar la información de diseño, suficiente para la fabricación de un equipo preparador de muestras de suelo.
- 3.** Que el diseño aporte mecanismos de separación de agregados agrupados en un equipo de bajo costo.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 COMPONENTES DEL SUELO

El suelo es un sistema muy complejo. Un volumen determinado de suelo está compuesto de materia sólida, líquida y gaseosa. La parte sólida puede ser mineral u orgánica. La porción mineral consiste en partículas de varios tamaños, formas y composiciones químicas (45%). La fracción orgánica incluye residuos en diferentes etapas de descomposición y organismos en estado de vida activa (5%). La fase líquida es el agua del suelo, que llena una parte o la totalidad de los espacios vacíos entre las partículas sólidas (15 a 35 %). La fase gaseosa o de vapor ocupa los espacios entre partículas no ocupados por el agua (15 a 35 %).

Las propiedades de cada constituyente del suelo, varía marcadamente entre sí. Además, en las interfaces, estos materiales presentan un comportamiento y propiedades distintas a las de cada material aislado; sin embargo, dentro de cada fase las propiedades físicas son uniformes. El suelo es un sistema altamente heterogéneo y disperso, constituido por gran cantidad de partículas sólidas que poseen una enorme área superficial, lo cual favorece los fenómenos relacionados con la actividad interfacial, intercambio iónico, adhesión, absorción, agregación, dispersión, y otros.

2.1.1 FASE SOLIDA

Los sólidos son los componentes más abundantes de los suelos. Hay dos tipos: minerales y orgánicos. La forma en que se encuentran acomodados estos sólidos determinan o modifican gran número de las características físicas del suelo, al igual que es la fuente de la mayoría de los nutrimentos para los vegetales; es el almacén de agua requerida por las plantas así como su sostén. Estas partículas minerales se derivan del interperismo de las rocas existentes sobre la superficie de la tierra, las cuales pueden ser, según su origen, ígneas, metamórficas y sedimentarias.

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (DAEU) y la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SICS), han clasificado las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño, en la forma siguiente:

a) Arena.

Partículas cuyo diámetro varía de 0.02 mm hasta un diámetro de 2 mm. Su principal componente es el óxido de silicio (Cuarzo, feldspatos, micas, etc.) y tiene una superficie específica promedio de $15 \text{ cm}^2/\text{ gramo}$, aproximadamente. Su capacidad de intercambio catiónico es nula, la principal función de la arena es estructurar o contribuir en la formación de la matriz del suelo.

b) Limo.

Son las partículas cuyo diámetro va de 0.02 mm hasta 0.002 mm; su principal componente es el óxido de silicio. Sus partículas tienen forma de plato y resbalan unas sobre otras, por lo que no estructuran; poseen una superficie específica promedio de aproximadamente $0.6 \text{ m}^2/\text{ gr.}$, y de intercambio catiónico casi nulo. Este no se contrae ni se expande al humedecerse y secarse.

c) Arcilla.

Las partículas de arcilla son de 2 micras de diámetro o menores, generalmente poseen estructura laminar y están orientadas al azar, son plásticas y pegajosas cuando están húmedas. La superficie específica es muy alta, el intercambio catiónico varía según el tipo de arcilla; estas desempeñan un papel muy importante en la determinación de las características físicas del suelo, su fertilidad, facilidad de laboreo, permeabilidad y otros procesos que ocurren en él.

d) Gravas y piedras.

En el suelo es común encontrar partículas minerales sólidas de diámetro mayor de 2 mm, es decir mayor que las de arena a las que se denominan gravas, cuando su diámetro varía entre 2 mm y 7 mm, o piedras, cuando el diámetro es mayor.

Las gravas y piedras son utilizadas en algunos huertos frutícolas, como acolchado de suelo, para protegerlos contra la deshidratación rápida, en los cajetes donde se aplica el agua de riego. Lo anterior hace que en balance estos minerales sean considerados como indeseables en los suelos agrícolas.

2.1.2 LA MATERIA ORGANICA EN EL SUELO

La materia orgánica (M.O.), ejerce gran influencia sobre las propiedades físicas del suelo tales como: la estructura, la penetración y retención del agua.

Durante su proceso de descomposición, se supone que sustancias como las gomas y resinas, son los agentes que unen las partículas del suelo para formar agregados. Tienen además alta capacidad de intercambio catiónico y participa en las reacciones de intercambio tanto de aniones como cationes.

Es un regulador coloidal que aglutina los suelos arenosos para formar agregados y afloja los suelos arcillosos para formar agregados, de igual manera afloja los suelos arcillosos macizos, para que ellos formen también agregados convenientes. Mejora, por lo general, las características de la retención del agua y, al mismo tiempo, produce condiciones tales que mejoran tanto la infiltración como el drenaje.

Los suelos ricos en humus no se vuelven compactos tan fácilmente con la labranza y otras labores, sino que tienden a permanecer sueltos y porosos. Sin embargo el efecto de la M. O. se hace mayor a medida que decrece el contenido de arcilla.

Muchas de las propiedades de los suelos se deben al tamaño de las partículas minerales presentes y área superficial que presentan. Estas propiedades pueden ser grandemente modificadas por la materia orgánica, especialmente el humus, debido a su alta capacidad de intercambio cationico

Los efectos de la M.O. sobre algunas propiedades físicas del suelo son:

Favorece la formación de agregados de las partículas sólidas y mejora la estabilidad estructural lo cual trae como consecuencia:

- Reducción de la densidad aparente y densidad de sólidos.
- Incrementa la porosidad.
- Incrementa la retención de humedad disponible para las plantas.
- Cambios en la velocidad de infiltración.
- Produce la resistencia del suelo a la penetración de raíces.
- Aumenta la facilidad de laboreo.

2.1.3 FASE LIQUIDA DEL SUELO

El agua en el suelo es la que constituye principalmente esta fase; aquí el agua nunca es pura sino que contiene sales en solución, sólidos orgánicos en suspensión a lo que se le llama solución del suelo.

La cantidad de solución del suelo o agua que puede retener depende de las propiedades individuales de cada suelo, especialmente del área superficial de las partículas, de su volumen y distribución de tamaño de poros.

La solución del suelo desempeña gran número de funciones en beneficio de las plantas y afecta algunas propiedades de este como son:

- Es un medio de donde toman los nutrientes las plantas.
- Aumenta la plasticidad del suelo y reduce su resistencia a la penetración.
- Provoca inchamiento en algunos suelos.
- Es un agente amortiguador de los cambios de temperatura.

2.1.4 FASE GASEOSA

El aire en el suelo constituye la fase gaseosa y esta compuesto por gases similares a la de la atmósfera. El O₂ gas es el de mayor concentración después del N₂, considerando esencial para los procesos bióticos que ocurren en el suelo. Al consumirse el oxígeno por los seres vivos, se produce el CO₂ por lo que la atmósfera del suelo debe renovarse constantemente.

2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO IMPORTANTES PARA LA AGRICULTURA

Narro (1994), menciona que las propiedades físicas del suelo se refieren, en general a la forma en que se ve o se siente el suelo y tiene influencia directa o indirecta en todas las funciones que desempeña el suelo agrícola en beneficio de las plantas. Las cuales se describen a continuación.

2.2.1 TEXTURA

Gavande (1982), explica que la textura específicamente se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo; y que esta propiedad ayuda a determinar no sólo la facilidad de abastecimiento de nutrientes, sino también agua y aire, importantes para la vida de las plantas.

En los comienzos de la investigación de las propiedades de los suelos, se creyó que las propiedades mecánicas dependían directamente de la distribución de las partículas constituyentes según sus tamaños por ello su determinación.

Y por esta razón, la proporción de los tamaños de varios grupos de las partículas de un suelo adquiere tanta importancia. No puede alterarse y de esta forma, se considera una propiedad fundamental del suelo que determina, en alto grado, su valor económico.

Narro (1994), por su parte menciona que la utilidad del conocimiento de la textura o clase textural a que pertenece un suelo radica en la deducción aproximada que se puede hacer de las propiedades generales del suelo, lo cual permite ajustar las prácticas de manejo de suelo, labranza, riego, etc. Para mayor eficiencia en la producción agrícola.

La determinación de la textura de un suelo se puede realizar, basándose en el análisis mecánico o granulométrico, que consiste en la separación y cuantificación de las partículas de arena, limo y arcilla de una muestra de suelo y en la consulta de sus % en el triángulo de texturas (Apéndice A), propuesto por el DAEU.

En este triángulo, el número de combinaciones posible de arena limo y arcilla es muy grande, sin embargo solo contiene 12 clases texturales y los suelos de cada clase tienen aproximadamente la misma superficie específica y otras propiedades comunes a todos los suelos de esa clase. Las propiedades de los suelos, son determinadas en buena parte por la fracción de partículas dominantes; sin embargo no se presenta el dominio de arena y limo ya que la arcilla, por su alta superficie específica, manifiesta sus propiedades aun encontrándose en pequeñas proporciones.

ANALISIS MECANICO

Gavande (1982), cita que por lo general, las partículas del suelo se encuentran formando agregados, pero se les puede separar por métodos químicos o mecánicos.

Estas partículas tienen diferente composición y estructura y, por lo general, difieren en tamaño y forma; pueden ser de naturaleza inorgánica u orgánica, cristalina o amorfa. Debido a esto, la separación total de las partículas depende de la naturaleza del conjunto.

Prácticamente es inadecuado usar el método de análisis mecánico sin dispersar la muestra; se hará una buena separación de partículas solamente cuando haya una dispersión total.

Se usan medios tanto mecánicos como químicos para la dispersión de partículas. Los métodos mecánicos son la agitación en agua, golpear o frotar con instrumentos apropiados, triturar con rodillos de madera, la agitación con chorros de aire en aparatos contruidos especialmente para ello.

Para lograr la dispersión por métodos químicos se usan reactivos tales como NaOH, Na₂CO₃, NaC₂O₄ (oxalato de sodio), Na₄P₂O₇ (pirofosfato de sodio), NaPO₃ (metafosfato de sodio) o varias mezclas de éstos, en soluciones concentradas para que sea posible:

1. Extraer los agentes cementantes.
2. Elevar el potencial electrocinético, de modo que los coloides permanezcan dispersos.

Posteriormente de triturar y pasar las muestras por un tamiz con perforaciones de 2 mm para extraer las gravas y arena gruesa, se les trata con peróxido de hidrógeno para destruir la M.O.

Una vez realizada la separación de agregados, se procede a determinar la textura de dicho suelo. La cuantificación de partículas minerales puede realizarse utilizando varios métodos, entre los cuales están el método de tamices, el de sedimentación de partículas y el de conteo microscópico, los que a continuación se mencionan:

1.- Método de tamices: Es bueno para partículas grandes del suelo, especialmente las que se encuentran en la escala comprendida entre la grava y la arena gruesa. Después que se ha dispersado la muestra de suelo, se pueden pasar la suspensión por uno o más tamices que separan las partículas más grandes.

Las partículas así obtenidas se lavan para dejarlas libres de coloides, y se les seca. Las muestras secas pueden subdividirse después mediante tamización en seco, según los fines del análisis.

Este procedimiento sólo sirve para las partículas mayores de 40-50 micras. En la tamización, pueden presentarse algunos errores, a causa de mallas perforadas por el uso. Si la tamización se hace en seco, se puede perder algo de polvo; si se hace en húmedo, las partículas pueden volverse pegajosas y se manejan difícilmente.

2.- Conteo microscópico: Se realiza contando el número de partículas de cada fracción textural, colocando una gota de la suspensión de suelo y agua en un porta objetos y, por medio de una técnica de separación, se puede realizar dicho conteo.

Para que una determinación sea válida, se requiere de un gran número de cuentas, lo que produce tensión y molestias. La partícula más pequeña visible con luz ordinaria mide alrededor de 0.2 micras; pero usándose la luz ultravioleta, se puede

llegar hasta un diámetro de 0.11 micra. Actualmente, este método se usa como medio de comparación con otros métodos.

3.- Método de sedimentación: En la actualidad, este método es el más utilizado para cuantificar la arena limo y arcilla contenidas en muestras de suelo.

Este método se basa en la Ley de Stokes para partículas sólidas, que caen dentro de un fluido viscoso. La fórmula propuesta por Stokes para calcular la velocidad de sedimentación de las partículas, es:

$$V = \frac{dx}{dy} = \frac{d^2 g(D_p - D_w)}{18n}$$

Donde: v = Velocidad de sedimentación (cm/seg.).

dx = Diferencia de distancia (cm).

dt = Diferencia de tiempo (seg.).

g = Gravedad (cm/seg²).

D_p = Densidad de la partícula sólida (gr/cm³).

D_w = Densidad del agua (gr/cm³).

n = Viscosidad del fluido (Poise).

n puede ser estimada por la relación:

$$n = \frac{0.01779}{n + 0.3368T + 0.00022T^2}$$

Donde: T = Temperatura del fluido (°C).

A fin de que la ecuación de Stokes sea válida, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- a) El tamaño de cada partícula debe ser mucho mayor que el espacio entre las moléculas del fluido. En caso de que el fluido sea agua, las partículas deben ser mayores de 0.01 micras.

- b) Las partículas deben caer desde un fluido de profundidad adecuada, a fin de no generar obstáculos entre ellas.
- c) El diámetro del recipiente debe ser, cuando menos, 10 veces mayor que el diámetro de las partículas mayores, a fin de evitar el efecto de las paredes del recipiente.
- d) No debe haber corrientes turbulentas que añadan resistencia a la caída de las partículas, aparte de la viscosidad del fluido.
- e) La temperatura debe permanecer más o menos constante durante la determinación; además, se debe conocer el valor de la viscosidad del fluido (agua) y esa temperatura.
- f) Las partículas tienen que distribuirse homogéneamente en toda la suspensión al inicio del proceso. Esto se logra agitando o revolviendo la suspensión dentro del cilindro de sedimentación inmediatamente antes de iniciar el conteo.
- g) Las corrientes formadas al agitar la suspensión debe cesar rápidamente; lo anterior se logra si se evitan vibraciones en el cilindro de sedimentación.
- h) No debe haber corrientes convectivas en el cilindro de sedimentación; éstas se evitan manteniendo constante la temperatura.

El método de sedimentación supone que la concentración de partículas de un tamaño dado y a una profundidad considerada, permanece constante, hasta que todas las partículas de ese tamaño han caído debajo de esa profundidad. Además, este método es poco sensible para la fracción arenosa, puesto que sus tiempos de sedimentación son muy pequeños, por lo que se recomienda determinar esta fracción utilizando tamices.

Cuando menos existen tres métodos para el análisis mecánico, basados en la ley de Stokes.

- 1) **Método de la pipeta:** Consiste en tomar con una pipeta muestras de la suspensión a la profundidad deseada y determinar la cantidad de sólidos después se evapora el agua. Las muestras se toman en intervalos adecuados para determinar la concentración de las partículas que nos interesan.
- 2) **Método del hidrómetro:** La cantidad de sólidos se determina midiendo la densidad de la suspensión por medio de un hidrómetro especial, en intervalos adecuados. La densidad disminuye a medida que las partículas sólidas se van sedimentando. Este

método se ha calibrado cuidadosamente con el de la pipeta; aquél es más rápido, pero menos exacto.

Esté método fue calibrado con muchos suelos, por Bouyocus (1962), que determino que después de 40 seg. todas las partículas mayores de 0.05 mm de diámetro se han asentado. Las lecturas hechas una hora después que se ha iniciado la sedimentación corresponden a las partículas más grandes de 5 micras y, a las dos horas, se habrán asentado las partículas de más de 2 micras de la solución. Cada laboratorio debe seleccionar sus propios tiempos de lectura en base a sus experiencias con los tipos de suelos que van a analizar.

- 3) Método por centrifugación:** La fuerza centrífuga por unidad de masa sobre una partícula depende de la distancia de ésta al centro de rotación. El tiempo de centrifugación para la separación de las partículas se calcula con base en el tamaño de estas.

2.2.2 SUPERFICIE ESPECIFICA.

Baver (1980), describe esta como el número de centímetros cuadrados de superficie por gramo o por centímetro cúbico de cierto material.

Físicamente, el significado de superficie específica puede ser demostrado usando un cubo de 1 cm x 1 cm x 1 cm como sigue:

$$S.E = \frac{\text{Area superficial}}{\text{volumen}} = \frac{6}{1} = 6$$

Ahora, se divide el cubo de tal manera que cada lado sea igual a 0.5 m.

$$\text{Número de cubos} = 2 \times 2 \times 2 = 8$$

$$\text{Area superficial} = (0.5)^2 (6)(8) = 12 \text{ cm}^2$$

$$\text{Superficie específica} = 12/2 = 2$$

Por lo anterior, se ilustra que la superficie específica esta inversamente relacionada con el tamaño del grano de un suelo.

Resulta evidente que a mayor área superficial mayor será la habilidad de participar en reacciones físicas y químicas. La mayoría de las propiedades físicas y químicas de los suelos dependen directamente de su superficie específica, más que del tipo de minerales presentes, y muchas de las reacciones que tienen importancia agrícola se producen en la superficie de las partículas o en las interfaces.

Existen varios métodos para medir esta característica en muestras de suelo, como son:

- a) Adsorción de líquidos y gases.
- b) Permeabilidad a líquidos y gases.
- c) Calor de inmersión.
- d) Análisis mecánico y la siguiente formula.

$$A_s = \frac{2M_s}{D_s} = \frac{r + t}{rt}$$

Donde:

A_s = Área superficial (cm^2).

M_s = Masa de sólidos (gr.).

D_s = Densidad de las partículas sólidas (gr./Cm^3).

r = Radio promedio de las partículas (cm).

t = Es el grosor promedio (cm).

Si comparamos las partículas de arcilla con las de arena o de limo, nos daremos cuenta de que, además de la diferencia en tamaños, existe un marcado contraste entre el área superficial por unidad de masa de estos grupos.

Una esfera de 2 mm de diámetro que es el tamaño de una arena gruesa, tiene un área superficial de $3 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$; si el diámetro es 0.02 mm (tamaño del limo) la superficie será $300 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$. El área superficial de las partículas de arcilla (0.002 mm de diámetro) es de $3,000 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$. Sin embargo estas partículas se asemejan más

a la de un plato que a la esfera, y su área superficial es aproximadamente 10 veces mayor que el valor señalado.

2.2.3 ESTRUCTURA

Bowles (1982), menciona que la estructura del suelo es tanto el arreglo geométrico de las partículas o granos minerales, como las fuerzas entre partículas que pueden actuar sobre ellas.

El departamento de Agricultura de los Estados Unidos, describe desde el punto de vista morfológico a la estructura, como la disposición de la partículas primarias del suelo que forman compuestos separados de los contiguos, y que tienen propiedades diferentes de las de una masa igual de partículas sin agregación.

Al considerar la estructura de un suelo, debe entenderse por partícula no sólo las que forman los separados mecánicos, como arena, limo y arcilla, sino también los agregados o elementos estructurales que se han formado por agregación de fracciones mecánicas más pequeñas.

La estructura del suelo implica un arreglo u ordenamiento de partículas primarias y secundarias en ciertos modelos o patrones estructurales. Tales patrones incluyen necesariamente el espacio de poros acompañantes.

En muchos casos los suelos están constituidos por masas de partículas secundarias (grumos, gránulos y agregados), en las que hay dos clases de poros: microporos en los gránulos y macroporos entre los gránulos.

CLASIFICACION DE LA ESTRUCTURA

No existe una clasificación universal de la estructura aceptada universalmente; es probable que esto se deba a que no se ha encontrado un método satisfactorio para medir la estructura del suelo. Sin embargo a continuación se presenta una forma de clasificar la estructura de un suelo:

1. De acuerdo con la forma de los agregados, se distinguen 2 grandes tipos:

- a) Estructura amorfa:** Su consistencia es masiva, compacta, continua o de grano simple.
- b) Estructura organizada:** Las partículas constituyen agregados de forma definida; en este grupo se incluyen los tipos siguientes:
 - I.** Estructura granular, donde los terrones son pequeños u esferoidales, no se unen a otros agregados y prácticamente no tienen poros.
 - II.** Estructura migajosa, con terrones porosos, pequeños y esferoidales que tampoco se unen a otros agregados.

2. Clasificación de acuerdo con la dureza de los agregados.

La dureza de los agregados está influida por el contenido de humedad, la cantidad de arcilla, el tipo de arcilla, la naturaleza de los cationes adsorbidos y el contenido de materia orgánica. Un alto contenido de humedad, arcilla caolinítica, cationes divalentes y alto contenido de M.O. causan una relativa suavidad de los agregados.

Dentro de esta clasificación conviene explicar la formación de la estructura en suelos cohesivos. El cual puede definirse como una agregación o colección de partículas minerales que tienen un índice de plasticidad definido por los límites de Atterberg y que forma una masa coherente al secarse, de tal forma que se requiere una fuerza para separar los granos microscópicos individuales.

Algunos estudios de suelos arcillosos muestran que las partículas individuales de arcilla están agregadas en unidades de textura submicroscópicas, denominadas dominios. A su vez los dominios se agrupan para formar grupos submicroscópicos llamados grumos. Los grumos a su vez se agrupan en pedones (terrones) y grupos de pedones de tamaños macroscópicos.

Los pedones y otras características macroestructurales, tales como grietas, fisuras, perforaciones o huecos de raíces, vetas y lentes de arena, limo u otras discontinuidades, a menudo controlan el comportamiento de toda la masa de suelo.

La resistencia de la masa de suelo es considerablemente menor a lo largo de una grieta o fisura en relación con la del material intacto. Si la irregularidad resulta estar desfavorablemente orientada con respecto a las tensiones aplicadas, puede ocurrir la falla o inestabilidad a menos que el material adyacente suministre un confinamiento suficiente.

3. Con base en el tamaño de los terrones, se distinguen cinco clases de estructuras; como se aprecia en el Cuadro 2.1. *

Cuadro 2.1. Tamaño de terrones de acuerdo al tipo de estructura.

TIPO DE ESTRUCTURA	Clases				
	MUY FINA	FINA	MEDIANA	GRUESA	MUY GRUESA
Laminar	<1	1-2	2-5	5-10	>10
Prismática	<10	10-20	20-50	50-100	>100
Blocosa	<5	5-10	10-20	20-50	>50
Esferoidal	<1	1-2	2-5	5-10	>10

***Valores expresados en mm.**

4. Grado de durabilidad de los agregados.

Así pues, teniendo en cuenta la durabilidad de los agregados, se pueden distinguir las siguientes categorías:

- a) Carente de estructura o desarrollada muy imprecisa, por lo que apenas se notan.
- b) Débil; la formación de los agregados es imprecisa, por lo que apenas se notan.
- c) Moderada; los agregados se han desarrollado medianamente, son duraderos y se distinguen fácilmente.
- d) Fuertemente; con agregados muy bien formados, que se distinguen con facilidad y son muy duraderos o de alta estabilidad.

FORMACION ESTRUCTURAL

Narro (1994), menciona que la formación de terrones o pedones en los suelos depende principalmente de las fuerzas de cohesión de las partículas finas, principalmente coloides, y de las fuerzas que generan la organización y la retención de partículas primarias en unidades estructurales de tamaño y forma definible.

Al conocer la agregación de los suelos, lo que interesa al agrónomo es la distribución de tamaños, la cantidad y la estabilidad de los agregados. Estos factores de agregación son importantes en la determinación de la cantidad y la distribución de espacio de poros asociados con los agregados y la susceptibilidad de éstos al agua y a la erosión eólica

Los factores que la generan no son totalmente conocidos, pero entre ellos están los siguientes:

- a) **Arcilla:** Cuando más arcilla haya en un suelo, se tendrá mayor número de agregados puesto que une a las demás partículas de tamaños mayores para formar agregados.

Ya que funciona como agente de enlace, debido a su alta superficie de contacto, los enlaces se desarrollan entre la partícula y el agua; por lo que al menor tamaño de arcilla el área superficial es mayor para dicho enlace y aumenta el intercambio de cationes. Al deshidratarse el suelo aumenta el número de enlaces entre partículas y se hacen más intensos por que son más cortos, y la cohesión entre partículas de arcilla es mayor.

La arcilla es adsorbida en la superficie de partículas mayores como en la arena, provocando que los enlaces entre la arcilla y la arena aumenten al disminuir el tamaño de las arcillas.

El efecto agregante de la arcilla también esta determinado por su propiedad de inchamiento y contracción con los cambios de humedad.

Se puede decir que la formación de agregados estables no se realiza en arenas y limos en ausencia de sólidos. Un requisito indispensable de la formación de agregados es que haya un material disponible que pueda ser agregado.

- b) Cementantes inorgánicos:** Los principales son los sesquioxidos de Fe y Al que forman coloides irreversibles, o muy lentamente reversibles a la acción del agua. El carbonato de calcio que se precipita alrededor de las partículas de suelo también actúa como cementante; al igual las sales solubles, sin embargo, en concentraciones altas causan la floculación de los coloides.
- c) Compuestos y cementantes orgánicos:** A medida que el contenido de arcilla decrece el efecto agregante de la materia orgánica se hace mayor, además ayuda a estabilizar la estructura del suelo.

Los coloides orgánicos y la arcilla causan la mayor parte de la agregación del suelo. Esto sugiere la posibilidad de la existencia de interacciones entre el material coloidal mineral y el orgánico para formar compuestos orgánicos, arcillo-orgánicos.

No toda la materia orgánica estabiliza los agregados; siendo las grasas, proteínas, resinas y algunos otros compuestos orgánicos estabilizadores.

- d) Micro y macroorganismos del suelo:** Principalmente bacterias hongos, raíces, lombrices y algunos insectos producen efectos físicos de empuje sobre partículas de suelo. Las raíces secretan compuestos orgánicos gelatinosos que sirven de ligamiento entre partículas; los hongos producen micelos; las bacterias gomas. Sin embargo, durante los periodos de intensa actividad microbiana, la célula y los microorganismos por sí mismos pueden mantener unidos en forma mecánica, las partículas del suelo.
- e) Aire:** Crea tensión superficial y actúa químicamente, ya que el aire del suelo es rico en CO₂. Este se equilibra con la solución del suelo y ayuda a la solubilización del Ca, el cual ayuda a la agregación.

- f) Presión:** Cuando se ejercen presiones sobre una masa de suelo húmedo las partículas de arcilla se orientan y permanecen juntas por atracción molecular y debido a fuerzas provocadas por la película de agua.

Estas presiones se pueden ejercer de diversas maneras: Por humedecimiento y secado, causando hinchamiento y contracción, por congelamiento, por implementos agrícolas y por el propio peso del suelo.

- g) Agua:** Participa en la formación de la estructura del suelo en varias formas:

- a) Hinchamiento y contracción de coloides, causados por el humedecimiento y secado del suelo; provocando el desarrollo de planos de debilitamiento.
- b) La tensión superficial que resulta de la presencia de superficies de agua y aire manteniendo a las partículas juntas y orientadas (cohesión).

ESTRUCTURA DE SUELOS COHESIVOS Y NO COHESIVOS.

I.- SUELO COHESIVO.

Bowles (1982), menciona que un suelo cohesivo es una agregación o colección de partículas minerales que tiene un índice de plasticidad definido por los límites de Atterberg y que forman una masa coherente al secarse, de tal forma que se requiere una fuerza para separar los granos microscópicos individuales.

Los ingredientes necesarios para dar cohesión a un suelo los son los materiales arcillosos. El grado de cohesión depende de los tamaños relativos y de las cantidades de diversos granos de suelo y materiales arcillosos presentes.

En el interior de los agregados la cohesión es grande y se mantiene grande por que los agregados permanecen estables; por otra parte entre las agregados, la cohesión es pequeña y es por eso que con un suelo con gran proporción de microagregados, la cohesión total es pequeña.

En general, todos los métodos para determinar la cohesión en suelos se basan principalmente en el cálculo de valores de la tasa de fuerzas necesarias por unidad de volumen de la tierra para vencer la resistencia a la fuerza o a la desintegración (a la compresión y a la ruptura). Algunos de estos valores se muestran en el Cuadro 2.2.

Cuando la humedad es baja y la tierra muy seca, la cohesión aumenta por que los agregados mantienen y aumentan sus puntos de contacto (atracción molecular, fuerzas de Vander Waals).

Cuadro 2.2. Clasificación de Terrenos por su Cohesión.

CLASIFICACION	GRADO DE COMPACTACION	MODALIDAD PRACTICA DE RECONOCIMIENTO	Kgr./cm ²
1	Muy suave	El trabajo es muy fácil, al pasar que dan restos de la señal, muy visibles y profundos.	0.25
2	Suave	El trabajo es fácil, quedan signos visibles.	0.30
3	Compacto, moderado	Trabajo poco fácil, el suelo se divide, pero hay resistencia.	0.45-0.50
4	Compacto	La penetración es difícil por los instrumentos.	0.50-0.75
5	Muy compacto	La penetración es muy difícil por los instrumentos, no es arable en tiempo seco	0.75

Las fuerzas entre partículas parecen originarse de tres tipos diferentes de cargas eléctricas:

1. **Enlaces iónicos:** Debido a una diferencia de electrones en las capas exteriores de átomos que componen las unidades básicas del suelo.
2. **Enlaces de Vander Waals:** Dado por alternaciones en el número de electrones en cualquier instante a un lado del núcleo atómico.
3. **Otros:** Incluye enlaces de hidrógeno y atracción gravitacional entre dos cuerpos.

Henin (1972), por su parte, explica que la cohesión de un cuerpo resulta de la resistencia de los enlaces que unen a sus constituyentes; y se mide determinando la fuerza necesaria para provocar una ruptura.

II.- SUELO NO COHESIVO.

Un suelo sin cohesión tiende a formar una estructura granular simple, la cual puede ser suelta o densa. Las estructuras granulares simples se forman cuando los granos de suelo sedimentan independientemente en una suspensión suelo-agua, a diferencia de la sedimentación por floculación. Generalmente, las partículas mayores de 0.01 mm formarán estructuras granulares simples; este tamaño es suficiente para que las fuerzas intergranulares y las fuerzas iónicas del agua sean insuficientes para vencer las fuerzas gravitacionales que actúan en los granos de suelo.

Los suelos que verdaderamente no tienen cohesión, sólo pueden ser encontrados en depósitos de suelos transportados, en los que el viento o el agua han removido los coloides o minerales de arcilla.

Los depósitos sin cohesión típicos incluyen bancos de arena y grava en corrientes de agua, depósitos de aluviales, arenas de dunas y playas.

2.2.4 ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

Baver (1980), se refiere a la resistencia que los agregados del suelo oponen a la influencia de desintegración del agua y de la manipulación mecánica.

Se reconoce que estabilidad de los agregados no es precisamente un sinónimo de estabilidad estructural, por que los agregados del suelo pueden ser alterados por variedad de fuerzas destructivas. Se sabe que el contenido de agua es a menudo un factor decisivo en la estabilidad de la estructura. Casi siempre es un factor en la determinación del grado en que fuerzas mecánicas particulares causarán el derrumbe de la estructura.

El agua puede trastornar la agregación de dos modos:

1. El efecto hidratante desintegra el agregado por hinchazón de su masa y explosión del aire atrapado.

2. El agua destruye la agregación y deteriora la estructura del suelo por acción de las gotas de lluvia que provoca la dispersión de los agregados. Las partículas dispersas penetran en los poros del suelo, aumentan la compactación y disminuye la porosidad.

Por otro lado, las operaciones de labranza, especialmente las realizadas con cultivadores, causan también una continua mengua en la estabilidad de los agregados, a menos que el nivel de materia orgánica se mantenga alto.

METODOS PARA EVALUAR LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL

1. Estabilidad contra la destrucción durante el cribado húmedo: Se usa para determinar la distribución de tamaños de las partículas y la estabilidad de los agregados.

Russell y Feng (1947) hicieron vibrar los agregados en agua por tiempo variable y encontraron que la relación entre la estabilidad de los agregados y la longitud del tiempo de oscilación era una relación exponencial.

2. La acción de las gotas de agua de lluvia en la desintegración de los agregados ha sido simulada por el método de las gotas de agua. La estabilidad se mide por el número de gotas de agua de 4.7 mm de diámetro que caen de una altura de 30 cm en un terrón de suelo y destruyen el terrón por completo.
3. Emerson (1954), midió la estabilidad de los grumos de suelo determinando la concentración de NaCl que provocan la dispersión en los agregados y los hacía impermeables.

METODOS PARA EVALUAR LA ESTRUCTURA DEL SUELO POR MEDIO DE LA MEDICION DE SUS PROPIEDADES FÍSICAS

- a) **Densidad aparente:** Es una medida común importante en la relación entre los sólidos y los poros en un momento dado. Depende en gran parte del contenido de agua en los suelos, que se contraen y se hinchan conforme se secan o se mojan. Es necesario conocer dos características: el peso seco de la muestra de suelo, y el volumen que la muestra aparente de suelo ocupa bajo las condiciones de campo.

- b) Análisis de agregados:** Se estudia con relación a la distribución de tamaños de los agregados y su estabilidad en agua. Los agregados se separan en diferentes grupos, según su tamaño, por medio de tamices, o su velocidad de asentamiento de acuerdo con la ley de Stokes.
- c) Modulo de ruptura:** Puede medirse en costras artificiales de suelo. Se ha encontrado que está relación con la emergencia de las plantas y con el rendimiento de los cultivos.
- d) Distribución de tamaño de poros:** Primeramente se obtienen las curvas de retención e humedad. Por medio de la ecuación de Kelvin, se calcula el radio aparente (r) del poro mayor que se llena de agua.

$$r = \frac{2r}{P_w gh}$$

Donde:

h = es el potencial de agua expresada como presión hidráulica del agua.

r = es la tensión superficial líquido-aire.

g = gravedad.

P_w = Porcentaje gravimétrico de agua

La resistencia a la penetración mecánica del suelo, también sirve como índice de compactación y estructura de este.

2.2.5 CONSISTENCIA DEL SUELO

Gavande (1982), la describe como los atributos del material del suelo que está expresados en su grado y clase de cohesión y adhesión o en su resistencia a la deformación o ruptura.

FUERZAS QUE CAUSAN LA CONSISTENCIA DEL SUELO

- a) **Atracción molecular (cohesión):** Esta atracción molecular se lleva a cabo por las cargas superficiales de las partículas de arcilla y por la atracción de partícula a partícula. La consistencia, como resultado de la atracción molecular, será grande solamente si las partículas de suelo están muy cerca unas de otras y tienen superficies relativamente grandes en común.
- b) **La tensión superficial (adhesión):** La tensión superficial es la causa de este fenómeno. Su efecto de mantener juntas a las partículas del suelo depende tanto de la proporción de agua como de aire.

Como la consistencia es el resultado de la atracción molecular, presenta dos máximos y dos mínimos. Esta es mayor en el extremo seco, debido a la cohesión y nuevamente en la parte media del humedecimiento debido a la adhesión; es muy pequeña, cuando el suelo está ligeramente húmedo o saturado.

Esta relación se da sólo en suelos que tienen contenidos de arcillas suficientes para hacer que la atracción molecular sea efectiva. La atracción molecular del limo y la arena es insignificante.

c) **Otros factores que afectan la consistencia son:**

1. Tipo de arcilla.
2. La cohesión aumenta al disminuir el tamaño de partículas.
3. Estructura. Un suelo está bien agregado, debido a que hay más área de contacto entre partículas individuales.

El suelo presenta varias formas de consistencia que dependen principalmente del contenido de humedad; estas son:

1. Suelo seco, consistencia dura o áspera, las partículas de suelo cuando se han separado no se vuelven a unir. La consistencia aquí depende de las magnitudes de la superficie de contacto por unidad de volumen.

Se puede incluir también el fenómeno de contracción, para explicar la consistencia en estos suelos.

Este fenómeno es producido por fuerzas de tensión formadas en las interfaces aire-agua sobre la superficie del sistema suelo-agua. La evaporación en la superficie del suelo retira agua del seno de éste, de lo que resulta el acercamiento mutuo de las partículas, contracción que es proporcional al volumen de agua eliminada. Finalmente, llega a un punto en el cual existe la interacción entre las partículas.

2. El suelo húmedo tiene consistencia friable, es decir es fácilmente desmenuzable. El estado de humedad en que los suelos son friables es el de mejores condiciones para la labranza. Los suelos friables son los que poseen mejor estado de agregación (mejor textura) para el cultivo. Los gránulos individuales son blandos; la cohesión es mínima. Existe humedad suficiente entre partículas para minimizar el efecto cementante, por otra parte, no hay agua suficiente para la formación de películas en los contactos entre partículas y producir la cohesión existente en el estado plástico.
3. El suelo mojado, tiene consistencia plástica, es decir el suelo puede moldearse sin perder su coherencia.

La plasticidad es, pues, el efecto resultante del esfuerzo y la deformación. El grado de deformación para un sistema dado es determinado por la distancia a que puede moverse las partículas sin perder su cohesión. La presión que se requiere para producir una deformación específica es un índice de la magnitud de las fuerzas de cohesión que mantienen a las partículas unidas.

2.2.6 DENSIDAD DE PARTÍCULAS DEL SUELO (Ds)

Narro (1994), la define como la relación de la masa de estos al volumen que ocupan, excluyendo el volumen que ocupa el espacio poroso que existe entre las partículas sólidas.

Los valores de densidad de los minerales comunes y partículas orgánicas son reportadas con cierto rango de variación por diferentes autores y promedios de estos valores se muestran en la en el Cuadro 2.3.

Cuadro 2.3. Valores de densidad de partículas sólidas encontradas en suelos agrícolas.

Material(es)	Ds (gr./cm ³)	Material(es)	Das (gr./cm ³)
Albita	2.63	Limonita	3.70
Arenisca	2.25	Mica	2.40
Biotita	2.90	Muscovita	2.88
Caolin	2.50	Ortoclasa	2.57
Cuarzo	2.65	Pederal	2.63
Feldespato	2.65	Plagioclasas	2.62
Granate	3.70	Pedsolferruginoso	2.70
Grsnito	2.70	Roca caliza	2.72
Hematita	5.10	Suelo calcaceo	2.45
Hidróxido férrico	3.73	Suelo humifero	2.07
Hornablenda	3.15	Turba	1.20
Humus	1.37		

Buckman (1991), expresa que, aun que pueden observarse considerables variaciones en la densidad de los suelos minerales individuales, las cifras para la mayor parte de los suelos corrientes varían entre los estrechos límites de 2.60 a 2.75. Esto es así por que el cuarzo, feldespato y silicatos coloidales, constituyen por lo regular la mayor porción de los suelos minerales. Por excepción, sin embargo, cuando están presentes cantidades anormales de minerales pesados, como magnetita, granates y hornablenda, la densidad de las partículas de un mineral puede exceder de 2.75 gr./cm³.

Sin embargo es conveniente recordar que los suelos generalmente están constituidos por diferentes tipos de partículas sólidas que puede ser calculada por alguna de las siguientes expresiones:

$$D_s = \frac{m_s}{V_s} = \sum_{i=1}^n D_i P_i$$

Donde:

m_s = Es la masa de todas las partículas sólidas contenidas en el volumen de sólidos

V_s = Volumen de sólidos.

D_i = Es la densidad de partículas de cada uno de los componentes.

P_i = Es la fracción que ocupa cada tipo de partículas.

Buckman (1991), cita que debe advertirse que la finura de las partículas de un mineral dado y la colocación de los sólidos del suelo no tienen nada que ver con la densidad de las partículas.

Debido a que la materia orgánica pesa mucho menos que un volumen igual de sólidos minerales, la cantidad de ese constituyentes en un suelo afecta marcadamente a la densidad de las partículas. Como consecuencia, los suelos superficiales poseen generalmente una densidad de partículas más baja que la del subsuelo.

El conocer el valor de la densidad de sólidos (D_s) puede servir para tener una idea de los minerales presentes en el suelo, especialmente si se combina el conocimiento de esta propiedad con algunas otras como el color, etc. Es útil además para interpretar mejor los datos de la densidad aparente del suelo y para calcular el por ciento de espacio ocupado por poros en un suelo dado.

DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE SOLIDOS

Método del picnómetro: El principio de este método consiste en determinar el volumen de la muestra pesada de suelo, colocándola en un frasco llamado picnómetro de volumen conocido, el cual es llenado con agua. La densidad puede ser calculada de la diferencia en peso del frasco lleno con agua solo y lleno con el suelo y agua.

2.2.7 DENSIDAD APARENTE (D_a)

Buckman (1991), la define como la masa o peso de una unidad de volumen de suelo seco, que incluye tanto los sólidos como los poros.

FACTORES QUE AFECTAN LA DENSIDAD APARENTE

- **Materia orgánica:** La poca cantidad de materia orgánica en los suelos arenosos favorece sus altas densidades, ya que provoca su estrecho contacto, mientras que los suelos de superficie fina, tal como las margas arcillosas y arcillas, por otra parte, ordinariamente no están tan unidas entre sí. Esto resulta por el hecho de que estos suelos superficiales están bien granulados relativamente, y ello es favorable por su alto contenido de materia orgánica.

- **Textura:** El valor de la densidad, cambia de acuerdo a la clase textural debido a la variación de cantidad y tamaño de las porciones de arena, limo y arcilla que componen el suelo. Ejemplos de valores de D_a (gr/cm^3) de varios suelos, se muestran en el Cuadro 2.4.

Cuadro 2.4. Valores de densidad aparente según la clase textural.

CLASE TEXTURAL	D_a (gr/cm^3)	CLASE TEXTURAL	D_a (gr/cm^3)
Arena	1.5-1.8	Migajón arcillo limoso	1.15-1.3
Arena migajón	1.4-1.7	Arcilla arenosa	1.1-1.25
Migajón arenoso	1.3-1.5	Arcilla limosa	1.1-1.25
Migajón	1.2-1.4	Arcilla	1.05-1.2
Migajón limoso	1.15-1.4	Arcilla en agregados	0.9-1.5
Limo	1.15-1.4	Arcilla sódica	1.2-1.5
Migajón arcillo-arenoso	1.15-1.3	Arena compactada	1.8-1.9
Migajón arcillosos	1.15-1.3	Suelo argánico	0.8-1.0

- **Laboreo:** La cosecha como el laboreo empleado sobre un suelo dado, bastan para influenciar en la densidad de volumen especialmente en las capas superficiales.

- **Otros factores:** Un incremento en el valor de la densidad aparente se refleja en una disminución de espacio poroso y un incremento en la conductividad térmica, en la compresión y compactación y en la resistencia de suelo a la penetración. Este incremento puede ser causado por una reducción de materia orgánica, por una degradación de los agregados del suelo o por la aplicación de una fuerza que reduzca el espacio poroso.

UTILIDAD DE LA DENSIDAD APARENTE

Desde el punto agrícola los valores bajos de D_a se asocian con una condición más apropiada para los cultivos y las características mencionadas del suelo toman valores más favorables para las plantas cultivadas y su manejo.

De igual forma los datos de D_a pueden ser utilizados conociendo la clase textural del suelo, para detectar problemas de compactación y tener una idea general de la condición agrícola del suelo. Sirve para calcular la masa de sólidos contenida en un suelo para una superficie y profundidad dadas, para calcular el espacio poroso del suelo, para transformar contenidos de humedad expresados en forma volumétrica o gravimétrica y viceversa y también para cálculos de lámina de riego.

Sin embargo, el valor de la D_a no es constante y puede variar con el tiempo para un punto dado, especialmente en la capa arable y con la profundidad del suelo.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE

Método de la parafina: Se pesa un terrón de forma aproximadamente esférica, se cubre con parafina y se vuelve a pesar. De estas pesadas en base a peso seco, se determina el peso exacto del suelo y su volumen.

2.2.7 RESISTENCIA DEL SUELO AL ESFUERZO CORTANTE

Baver (1980), la define como la resistencia de un suelo a la cortadura; es la resistencia interna máxima del suelo al movimiento de sus partículas, esto es: La resistencia al desplazamiento o resbalamiento del suelo sobre el suelo. Las fuerzas que resisten el esfuerzo cortante son las de fricción y cohesión internas o intergranulares. Según la Ley de Coulomb tenemos que:

$$S = C + \tan \phi P$$

Donde:

S = Es la resistencia a la cortadura.

C = La cohesión.

P = La presión efectiva normal al plano de corte.

$\tan \phi$ = Es el coeficiente de fricción.

ϕ = Es el ángulo de fricción.

Las componentes de la resistencia al corte, están expresadas por una combinación de factores físicos y fisicoquímicos. Los Físicos afectan primeramente a la componente de fricción. Ellos proporcionan la resistencia al deslizamiento de una partícula sobre otra y la trabazón de las partículas; este movimiento requiere que la partícula se mueva verticalmente bajo la acción del esfuerzo aplicado antes de que se mueva horizontalmente sobre una partícula adyacente.

Los factores fisicoquímicos se expresan por factores de cohesión. Dicha cohesión es función de las fuerzas de atracción y repulsión en las interacciones de las arcillas; además de dichas fuerzas de unión existen fuerzas de repulsión debido a la doble capa difusa alrededor de ellas y depende de la hidratación de los cationes adsorbidos. Por lo que el contenido de humedad de los suelos afecta la distancia entre partículas y las fuerzas de atracción asociadas con las interfaces, lo cual afecta la cohesión entre las partículas sólidas del suelo. A medida que un suelo se hidrata, la cohesión tiende a incrementarse y también se incrementa la resistencia al esfuerzo cortante.

El método de corte directo o del corte triaxial pueden ser utilizados para evaluar la resistencia al esfuerzo cortante. Estos métodos consisten en la aplicación de fuerzas cortantes sobre bloques de suelo hasta generar el desplazamiento de una masa parcial del bloque.

4.2.8 COMPRESION – COMPACTACION

Baver (1980), define la compactación como la variación de volumen del suelo bajo un esfuerzo aplicado. Como el volumen, denota el decremento en la razón de vacíos por incremento de carga o presión aplicada, la función entre la razón de vacíos y la presión está dada por la ecuación siguiente:

$$e = A \log P - C$$

Donde:

A = Es el índice de compresión.

P = Es la carga o presión aplicada.

C = Es una constante, razón de vacíos por unidad de carga P.

El aumento de presión en una muestra seca, produce una disminución lineal en la razón de vacíos. Esto se debe a la orientación paralela de las partículas que hacen menor volumen por unidad de masa. El decremento de la razón de vacíos en la consolidación húmeda de la muestra es causado por el espaciamiento apretado de las partículas que han sido parcialmente orientadas. Como se requiere trabajo para orientar las partículas, hay mayor compresión por unidad de carga al compactar la muestra húmeda.

Los suelos saturados y los no saturados se comprimen bajo una carga natural hasta una razón de vacíos que es función de la resistencia de los grumos. Cuando se aplica una fuerza cortante, el suelo sigue comprimiéndose hasta una razón de vacíos constante, que se denomina razón última de vacíos (RUV), depende de la resistencia de los agregados y de las propiedades de retención de agua del suelo.

Narro (1994), menciona que la compactación del suelo es el incremento en densidad aparente que resulta de la aplicación de una carga o presión.

Las causas pueden ser por fuerzas mecánicas aplicadas, de la contracción de algunos suelos al secarse y de la destrucción de la materia orgánica o de la estructura del suelo; sin embargo, los principales problemas de compactación del suelo se deben al

exceso de uso de maquinaria agrícola y a la inoportunidad con que se practica la labranza, generando la formación de una capa dura inmediata por debajo del suelo arado; que se le llama paso de arado, y limita la profundidad efectiva del suelo para la exploración de las raíces, disminuye la velocidad de infiltración del agua, disminuye la porosidad del suelo y la aireación de las raíces.

2.3 TOMA DE MUESTRAS DE SUELO PARA ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS.

2.3.1 MUESTREO

La toma de muestras de suelo tiene gran importancia, ya que debe ser representativa, de lo contrario los resultados no podrán ser utilizados.

La información que se obtiene de los análisis sirve para conocer detalladamente las características del suelo de las cuales se harán recomendaciones del mismo con fines de producción agrícola.

Si las muestras son bien tomadas y si los métodos de laboratorio están debidamente calibrados, entonces los resultados podrán utilizarse como auxiliares para dictaminar un manejo adecuado del suelo.

2.3.2 INSTRUCCIONES DE MUESTREO

- I.** Si el suelo es muy uniforme en apariencia, producción, manejo y tratamiento de fertilización, puede dividirse en áreas de 10 hectáreas. El terreno se dividirá en fracciones más pequeñas en caso de haber otras variantes tales como pendiente, apariencia drenaje, clase textural, etc.
- II.** En cada fracción uniforme previamente determinada se tomarán muestras compuestas. Se utilizan barrenas de broca o de tubo, palas rectas u otras herramientas disponibles.

- III.** No se toman muestras en áreas fertilizadas, bordos, orillas de caminos o áreas no representativas.
- IV.** Se facilita mejor el muestreo cuando la humedad del suelo es apropiada para el barbecho.
- V.** La profundidad de muestreo dependerá del espesor del horizonte que se quiera conocer ó del sistema radicular. La muestra debe ser representativa del horizonte. Si se usa barrena tome 15 muestras para hacer una compuesta.
- VI.** Etiquete cada muestra numerándola y poniendo su nombre. Conserve una descripción del área muestreada señalando los puntos muestreados. Se sugiere que haga un croquis y marque sus puntos, de lo contrario puede olvidarse del lugar muestreado.
- VII.** En zonas áridas y semi-áridas con frecuencia hay problemas de salinidad. Estas sales se desplazan hacia arriba y abajo según la variación de la humedad, deberá muestrearse por horizontes (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) hasta llegar a los 90 cm a la capa freática si está superficial.
- VIII.** Varias muestras podrán juntarse en una cubeta de plástico limpia para hacer la muestra compuesta y de ésta se toman dos kilogramos para llevarla al laboratorio en donde se prepararán.
- IX.** Las muestras compuestas se secan extendiéndolas sobre papel limpio bajo condiciones ambientales del laboratorio, pero no en estufa.
- X.** El suelo se muele a baja presión con un rodillo de madera para desbaratar las estructuras. Se criba utilizando un tamiz con aberturas de 2 mm. Esta muestra quedará lista para someterla a los distintos procedimientos de laboratorio.

2.4 REDUCCION DE TAMAÑOS

La mayoría de los minerales son de materiales cristalinos en el cual los átomos están arreglados en tres dimensiones. La configuración de átomos es determinada por los tamaños y tipos de retención física y química en las rejillas de minerales cristalinos, estos los interatómicos están afectados solo por pequeñas distancias y pueden ser rotas si son extendidas por una fuerza tensil. Tales fuerzas pueden ser generadas por cargas de tensión o compresión.

En el proceso de trituración el material se reduce de tamaño fracturándolas. El mecanismo de la fractura no se conoce bien aunque se puede decir que durante el proceso los materiales son sometidos a tensiones bajo la acción de los miembros mecánicos de la maquina trituradora, siendo estas tensiones en principio absorbidas internamente por las sustancias en forma de energía de deformación.

Cuando las energías locales de deformación exceden un valor crítico que es en función de la sustancia, tiene lugar la fractura a lo largo de líneas débiles y se disipa la energía almacenada. Parte de esta energía se utiliza para crear nuevas superficies y la mayor parte se disipa en forma de calor.

La fuerza aplicada puede ser de compresión, impacto o cizalla, y tanto la magnitud de la fuerza como el tiempo de aplicación afectan la cantidad de trituración alcanzada.

Para que la trituración sea eficiente, la concentración de energía aplicada a la sustancia debe exceder la energía mínima para romperla por un margen tan pequeño como sea posible. Cualquier exceso de energía se pierde en forma de calor y esta pérdida debe hacerse lo más pequeña posible, puesto que el proceso de trituración es ya ineficiente.

2.5 TIPOS DE TRITURADORES

2.5.1 TRITURADORES DE PIEDRAS

1. Trituradores de piedras horizontales.

Los trituradores a piedras se dividen en maquinas horizontales y verticales, de acuerdo al plano en que giran las piedras. Los trituradores horizontales son de tres tipos, a saber, aquel en el cual la piedra superior es la que gira, aquel en el cual la piedra inferior es la giratoria y aquel en el cual ambas piedras giran en direcciones opuestas. Este tercer tipo nunca a sido popular debido a su consumo de fuerza extravagante y sus complicaciones mecánicas; los otros dos tipos son similares en su diseño general, pero un triturador con piedra superior giratoria posee una capacidad menor, ya que el peso de la piedra móvil hace difícil controlar la exactitud del triturado. El tipo con piedra inferior giratoria, ampliamente el más popular de los trituradores horizontales, posee generalmente piedras más chicas tiene una capacidad mayor, mientras que la presión entre las piedras es controlada enteramente por medios mecánicos y puede ser ajustada más delicadamente.

2. Trituradores de piedras verticales

Los trituradores verticales funcionan más velozmente que las maquinas horizontales y poseen una capacidad mayor; son también más accesibles y accionan más fácilmente, puesto que el mando no va colocado en ángulo recto. Los costos de mantenimiento son más bajos y ocupan menos espacio.

2.5.2 TRITURADORES DE PERCUCION O DESINTEGRADORES

Muchas de tales maquinas existen ahora, todas ellas trabajando sobre el principio de quebrar los materiales por medio de un gran número de violentos impactos. Van casi invariablemente equipadas con una criba que se extiende parcial o totalmente alrededor de la circunferencia de la cámara trituradora, lo cual evita que el material escape hasta que halla sido reducido a un grado de finura definido. Es por lo tanto

posible para un triturador a percusión efectuar todo el cernido de su propio material, pero en la práctica esto es raramente deseable, debido a que si la criba o zaranda es fina del todo, causa una seria reducción en la capacidad y aumenta el consumo de fuerza. Estos trituradores pueden ser de tres tipos:

1) Trituradores de percusión, de simple etapa.

Los trituradores de simple etapa son un desarrollo directo del tipo de máquina de percusión más primitivo y generalmente consiste simplemente de una cámara de triturado que contiene cuatro batidores giratorios, ambos lados de la cámara moledora son usualmente ondulados en forma de ayudar al molino haciendo rebotar las partículas de vuelta hacia la trayectoria seguida por los batidores.

Este tipo de molidor se adapta mejor para el quebrantamiento preliminar de los materiales gruesos (en molienda de trigo); en un trabajo de esta clase posee una capacidad alta, pero en un molino fino la proporción entre el consumo de fuerza y lo producido, excede los límites económicos.

2) Trituradores a percusión, de etapas múltiples.

Posee en el centro un anillo de batidores giratorios, los cuales están circundados por un anillo concéntrico de batidores fijos; algunas veces, estos últimos están rodeados por anillos alternados adicionales compuestos de batidores fijos y móviles.

El material que penetra en el centro de la cámara de triturado es golpeado por batidores giratorios y lanzado contra batidores fijos, proporcionando esto no solo un impacto adicional sino también sirve para evitar que los productos alcancen la misma velocidad que los batidores móviles o que escapen demasiado pronto a la trayectoria de los mismos.

3) Trituradores a martillos.

El triturador a martillos, último tipo de triturador de alta velocidad, puede producir una molienda fina desde una variedad de materias primas mayor que cualquier otro tipo de máquina.

Los martillos oscilantes proporcionan también la ventaja única de que una entrada accidental de un objeto extraño, raramente causa el serio perjuicio que ocurriría casi inevitablemente en una maquina con batidores rígidos.

2.5.3 TRITURADORES DE RODILLOS.

Wills (1992), explica que los trituradores de rodillos consumen menos energía que los de quijadas y trituradores giratorios al igual que los de impacto. A continuación se mencionan los tipos de trituradores de rodillos:

- 1. De un solo rodillo:** Consta de un rodillo dentado montado horizontalmente y una placa estacionaria o yunque quebrador, la cual esta soportada sobre un sistema de resortes de compresión, que le permita cierto movimiento para alejarse del rodillo cuando el material alimentado sea difícil de quebrar.

La acción del triturado, se realiza por la acción del giro del rodillo dentado y la compresión de este contra el yunque de quebrado en la zona convergente de estas superficies.

Un solo rodillo triturador esta particularmente adaptado al quebrado de piedras de cal suaves, rocas de fosfato, sales y otros depósitos sedimentados abrasivos. Este opera mejor sobre delgados extractos de piedra. Su capacidad varia tremendamente con la medida de los dientes y su naturaleza así como por el desgaste debido al triturado.

- 2. De dos o más rodillos:** En estas unidades los rodillos giran uno hacia otro. Las partículas de la carga son atrapadas y arrastradas entre los rodillos, sufriendo una fuerza de compresión que las tritura. En algunos aparatos los rodillos giran a diferente velocidad dando lugar también a una fuerza de cizalla.

La producción de estas unidades esta regida por la longitud, diámetros de los rodillos y la velocidad de rotación. El diámetro de los rodillos, su velocidad diferencial y el espacio que entre ellas queda se pueden variar para adaptarlos al

tamaño de la materia de partida y la velocidad de proyección deseada, aunque se dispone de un sistema de resortes de compresión para exceso de carga a fin de proteger la superficie de los rodillos, sin embargo es recomendado quitar los cuerpos que requieran fuerzas mayores antes de la trituración.

- **Requerimientos para rodillos:** Taggart (1994), menciona que estos deben estar corrugados, simples en construcción y compactos, y las partes de trabajo deben ser accesibles sin esfuerzo al igual que las partes gastadas cuando la maquina sea desmantelada. Ejerce una presión suficiente para el triturado del material sin embargo debe ser suficientemente flexible para el paso de materiales inquebrables.
- **Posición de los rodillos:** Es importante que los rodillos posean un calibre de alineación perfecto, esto es, que sus ejes deben descansar sobre un mismo plano; si están cruzados en el menor grado los rodillos no podrán afectar nunca un trabajo exacto a lo largo de su extensión total; al igual es importante mantener una alimentación homogénea sobre el total de la superficie de contacto de los rodillos para evitar desgaste en zonas localizadas.
- **Superficie de los rodillos:** En el caso de la trituración de materiales tal como piedra, carbón, yeso, fosfato y minerales con hierro suave, estos constan de dientes para facilitar esta acción.

Estos se utilizan también en la molienda de trigo, pero con superficie liza o estriada tipo diente de sierra pero pueden ser achatados para evitar la alta producción de polvos. El rallado o estriado de los rodillos puede ser en espiral sobre la superficie de este para aumentar su efectividad.

2.6 TIPOS DE SEPARADORES

2.6.1 Separadoras de zaranda plana.

- a) **Zaranda oscilante:** Posee una ligera pendiente, esta combinada con la oscilación, hacen que los productos se muevan lentamente sobre la superficie.

La zaranda debe ser alimentada en tal proporción que una gran parte de su superficie esté cubierta con una cierta profundidad de productos; esto proporciona a la carga el tiempo necesario para formar capas y la sujeta a la acción del cernido por un tiempo apreciable.

- b) **Zarandas rotativas:** La zaranda se mueve en círculo sobre un plano horizontal. Pueden ser planas o ligeramente inclinadas, aquí los productos son agitados mucho menos severamente que en una zaranda oscilante; debido a esto la separación de los productos pasantes son más finos y la capacidad por unidad de superficie de cernido es más baja.

2.6.2 Separadoras cilíndricas o poligonales.

Estas giran alrededor de su propio eje longitudinal, que puede ser horizontal o ligeramente inclinado. La carga es alimentada hacia dentro del cilindro y las partículas pequeñas son cernidas afuera a través de la superficie cernidora.

2.6.3 Separadora de superficie alveolada.

Consisten en superficies con centenares de pequeños alvéolos, los cuales recogen las partículas de ciertas dimensiones y rechazan otras. Estas se subdividen en:

- a) **El cilindro “trieur”:** Este es un cilindro horizontal o ligeramente inclinado, alveolado en su superficie interior; la carga es alimentada hacia dentro del cilindro.
- b) **La separadora de discos:** Consiste en un número de discos alveolados girando en un plano vertical y hundidos parcialmente en la masa de carga.

2.6.4 Separadora de superficie inclinada.

No poseen movimiento mecánico; la carga rueda o se desliza hacia abajo sobre una pendiente, se separa por sí misma debido a la velocidad de descenso de las varias partículas.

III.- MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo fue realizado en el departamento de Maquinaria Agrícola de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, cuyo inicio corresponde al mes de Febrero de 1999.

3.1 MATERIALES

Con al fin de obtener una maquina de precio reducido, se sugieren materiales de bajo costo pero que reúnan las características deseadas para la construcción de la preparadora de muestras. En el Cuadro 3.1., se muestran las especificaciones de los materiales propuestos.

Cuadro 3.1. Materiales propuestos en la construcción de la maquina preparadora para muestras de suelo y sus costos.

CLAVE	MATERIAL	DIMENSIONES	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO \$
01	Angulo comercial	$\frac{3}{4}$ " x $\frac{3}{4}$ " x $\frac{1}{8}$ "	118	Pul.	15.00
02	Angulo comercial	1" x 1" x $\frac{1}{8}$ "	118	Pul.	17.00
03	Redondo comercial	$\frac{3}{8}$ "	118	Pul.	18.00
04	PTR	1 $\frac{1}{2}$ " x 1 $\frac{1}{2}$ " x $\frac{1}{8}$ "	1	Pza.	70.00
05	Solera comercial	1 $\frac{1}{4}$ " x $\frac{5}{16}$ "	118	Pul.	18.50
06	Solera comercial	$\frac{3}{4}$ " x $\frac{1}{4}$ "	118	Pul.	17.00
07	Solera comercial	1" x $\frac{3}{16}$ "	118	Pul.	17.70
08	Solera comercial	$\frac{3}{8}$ " x $\frac{1}{8}$ "	118	Pul.	9.00
09	Rodamientos de bolas	1" \varnothing interior	4	Pza.	120.00
10	Rodamientos de bolas	$\frac{3}{8}$ " \varnothing interior	3	Pza.	70.00
11	Sproquet (17 dientes)	$\frac{3}{8}$ " de paso	3	Pza.	105.00
12	Sproquet loco	$\frac{3}{8}$ " de paso	1	Pza.	176.00
13	Cadena	$\frac{3}{8}$ " de paso	1	Caja	156.00

Cuadro 3.1.continuación.

14	Motor ¼ HP		1	Pza.	564.65
15	Reductor de velocidad		1	Pza.	2700.00
16	Mallas para tamiz	2 mm abertura	40	Pul ² .	25.00
17	Tubo	⁵ / ₁₆ " cédula 14	118	Pul.	18.00
18	Tubo	1 ½" cédula 14	118	Pul.	20.00
19	Cuadrado	¹ / ₂ " x ¹ / ₂ "	118	Pul.	17.43
20	Lámina	Calibre 18	396	Pul ² .	188.00
21	Triplay	94.5" x 47" x ¹ / ₄ "	1	Hoja	250.00
22	Faja	2" x ¹ / ₂ "	28	Pul.	8.00
23	Tornillos	⁵ / ₁₆ " x 2"	8	Pza.	5.75
24	Tornillos	³ / ₈ " x 1½"	8	Pza.	6.60
25	Tornillos	¹ / ₂ " x 4"	2	Pza.	3.20
26	Soldadura 6013.		2	Kg.	40.00
27	Polea	2 ½" Ø exterior	1	Pza.	90.00
28	Polea	1 ½" "Ø exterior	1	Pza.	80.00
29	Banda de caucho 3LV	³ / ₈ x ⁷ / ₁₆	1	Pza.	35.00
30	Nylamid	4" Ø x 24"	1	Pza.	773.79
31	Coplee flexible	³ / ₈ Ø interior	1	Pza.	66.70
Total =					5701.32

3.2 MÉTODOS

1) Estructura o esqueleto: Fue diseñada de la forma más compacta posible pudiendo albergar las partes que constituyen la maquina. Se propone de PTR comercial (SAE 1020) debiendo hacer los cortes convenientes con segueta, siendo unidos con soldadura eléctrica y tornillos.

2) Rodillos: Son propuestos en Nylamid, debido a que es un material que evita la contaminación de las muestras con residuos metálicos que afectarían el resultado del análisis químico de la muestras de suelo. Las propiedades principales del Nylamid se muestran en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Propiedades principales del Nylamid “M” (barra cilíndrica).

PROPIEDADES	VALORES	UNIDADES
Densidad.	0.41.	Lb/Pul ³
Dureza Shore-D.	80-82	
Absorción de agua: 24 hrs.	0.60	%
Hasta saturación.	3	% máx.
Temperatura de servicio.	100	°C
Resistencia a la tensión.	10240.7	Lb/pul ²
Resistencias a la compresión.	12089.7	Lb/Pul ²
Resistencia al aplastamiento.	9671.8	Lb/Pul ²
Resistencia a la flexión.	17067.87	Lb/Pul ²
Resistencia a la torsión.	7538.05	Lb/Pul ²
Resistencia al impacto.	17.637	Pul.lb/Pul
Elongación.	15-30	%
Módulo de elasticidad.	10250	Lb/Pul ²

Este material se encuentra comercialmente en barras de 4” de diámetro con un largo de 24”. Por lo que de una barra se tendrán que obtener los rodillos que deberán ser sometidos a un maquinado (Apéndice B).

3) Bases para rodamientos: Estas bases son planteadas de ángulo comercial (SAE 1020) al igual que con solera.

Dos de estas bases, en donde van montados los rodamientos correrán por guías fabricadas con ángulo y cuadrado para permitir que el rodillo que soportan tenga desplazamiento horizontal.

Las otras dos bases, también cuentan con rodamientos que soportarán al otro rodillo, pero a diferencia de las anteriores estas serán fijas. Tanto las bases fijas como las que tienen desplazamiento, incluyen un opresor para fijar el rodamiento en ellas y evitar así que este se mueva fuera de su base, en tanto que las bases estarán unidas a la estructura por tornillos (Apéndice B).

4) Tolva: Deberá ser construida, con las dimensiones apropiadas para contener el material obtenido de un muestreo que es aproximadamente 334 pul³ (Apéndice B)

5) Zaranda: Con el fin de separar los componentes granulométricos de la muestra de suelo, esta zaranda es diseñada de madera y tela metálica con aberturas de 2 mm (No. 10). La madera será utilizada para armar un bastidor o marco para fijar la malla de cernido; y estará soportada por cuatro péndulos de solera comercial (SAE 1020) unidas a ella por medio de pernos que le permiten movimiento a la misma además deberá tener una inclinación aproximada de $4 - 5^\circ$ con respecto a la horizontal (Apéndice B), para facilitar el separado.

6) Eje excéntrico: Este eje, está diseñado para dar movimiento a la zaranda y estará construido con redondo comercial (SAE 1020) y unido con soldadura eléctrica (AWS 6013). Esta montado en dos rodamientos e impulsado por una banda a través de una polea (Apéndice B).

7) Cubierta de la maquina: Propuesta de triplay en secciones que estarán atornilladas a la armazón de la maquina para ocultar los mecanismos, y evitar la salida de polvo y accidentes.

8) Transmisión del movimiento: Consta de un motor de $\frac{1}{4}$ HP, el cual estará acoplado a un reductor de velocidad con una relación de 20:1 para disminuir las revoluciones de salida. Esta potencia o movimiento se transmitirá a los rodillos por medio de sprockets y cadena, sin embargo a la zaranda le proporcionara el movimiento uno de los rodillos a través de una transmisión por banda.

3.3 FUNCIONAMIENTO.

La muestra de suelo una vez que se ha dejado secar a temperatura ambiente, y que se le han retirado cuerpos extraños, será vaciada en la tolva de la maquina. Esta muestra caerá inmediatamente entre un par de rodillos con los cuales se lograra la reducción de los terrones que forman la muestra en partículas más pequeñas; estos rodillos, serán impulsados por un reductor de velocidad con una relación de 20:1 por lo que reduce la velocidad angular a 86 r.p.m. y proporcionando un torque de 144 lb-pul. a los rodillos. Este reductor será accionado por un motor de $\frac{1}{4}$ HP y con una velocidad de

salida de 1725 r.p.m. por medio de un acoplamiento flexible. La transmisión de potencia hacia los rodillos se lograra por medio de sprockets y cadena.

Los rodillos, tendrán una forma tal que aumentará la atracción del material hacia estos; uno de los rodillos estará montado en un par de rodamientos colocados en bases atornilladas a la armazón y sujetos con opresores (rodillo A), mientras que el otro rodillo (rodillo B) ira montado en otro par de bases con rodamientos, pero a diferencia de los anteriores estas se podrán deslizar horizontalmente a través de guías atornilladas a la armazón. Este sistema de bases corredizas, permitirá que el rodillo pueda alejarse del otro fijo cuando por accidente un material de mayor tamaño pase por ellos, amortiguando dicha fuerza y evitando así una falla mayor. El reposicionamiento del rodillo, se logrará al colocar un resorte calibrado a la fuerza requerida para la reducción en una de las bases corredizas, mientras que la otra base regresara el rodillo por la fuerza misma que tensiona la cadena que le transmite el movimiento.

La muestra de suelo una vez que sea reducida por los rodillos, caerá inmediatamente después a una zaranda oscilante e inclinada, la cual separara el material dejando pasar las partículas menores de 2 mm las cuales caerán a una tolva de salida, para ser colectadas en un recipiente, mientras que las fracciones mayores de 2 mm caerán en otro colector para ser retiradas.

La zaranda por su parte, será accionada por un eje que hará las veces de una leva, transmitiendo el movimiento a la zaranda por medio de una solera de forma semejante a una biela. Este eje será accionado por una banda y un par de poleas obteniendo así una velocidad angular de 86 r.p.m. que proporciona el rodillo a 150 r.p.m. en el eje de la zaranda.

Finalmente, para lograr el funcionamiento y la reducción adecuada a las necesidades del laboratorio de esta maquina, se podrá ajustar la separación de los rodillos por medio de dos manivelas colocadas en las bases corredizas y que se encuentran fuera de la maquina para su fácil acceso y ajuste que se lograra solamente girando estas en un sentido u otro.

3.4. CÁLCULOS DE DISEÑO

Tomando como punto de referencia el valor de la fuerza para vencer la cohesión de un suelo (0.75 Kg/cm^2), mostrada en el Cuadro 2.2., se procedió al cálculo de diseño de la maquina preparadora para muestras de suelo.

Por lo anterior expuesto y por conveniencia para los cálculos correspondientes al diseño de los rodillos, la carga fue considerada de 1 Kg/cm ; la cual fue sustituida por su equivalencia en unidades inglesas (5.6 lb/pul) además considerando que las áreas de contacto entre los terrones y los rodillos son demasiado angostas, por lo que se le considera como una carga uniformemente distribuida sobre ellos.

Sin embargo las cargas anteriores no son todas las que intervienen en el diseño, también se deben considerar el propio peso del material (6.21 lb.) así como las causadas por la transmisión de potencia.

3.4.1. Diseño de ejes.

Suponiendo que la fuerza que actúa en cada rodillo lo hace en forma tangencial a este, y obteniendo el torque que provoca en él tenemos que:

Si la carga uniforme sobre el rodillo es de 5.6 lb/pul y la longitud del rodillo es de 6 pul , por lo tanto:

$(5.6 \text{ lb/pul.}) (6 \text{ pul.}) = 33.6 \text{ lb.}$ Carga sobre la longitud del rodillo.

$(33.6 \text{ lb.})(2 \text{ pul}) = 67.2 \text{ lb-pul.}$ Torque debido a que el rodillo tiene 4 pulgadas de diámetro.

Para las condiciones anteriores se selecciono un reductor con relación de $20:1$ y un torque de salida de 144 lb-pul ; el cual es accionado por un motor de $\frac{1}{4} \text{ HP}$ y con una velocidad de salida de 86 r.p.m.

Dicha potencia es transmitida por cadena y sprocket a los rodillos (en contra de las manecillas del reloj) al mismo tiempo provocando que gire en sentido contrario

como se muestra en la Figura 3.3, por lo que las fuerzas que actúan en el eje del rodillo "A" se obtuvieron como se plantea en la Figura 3.4.

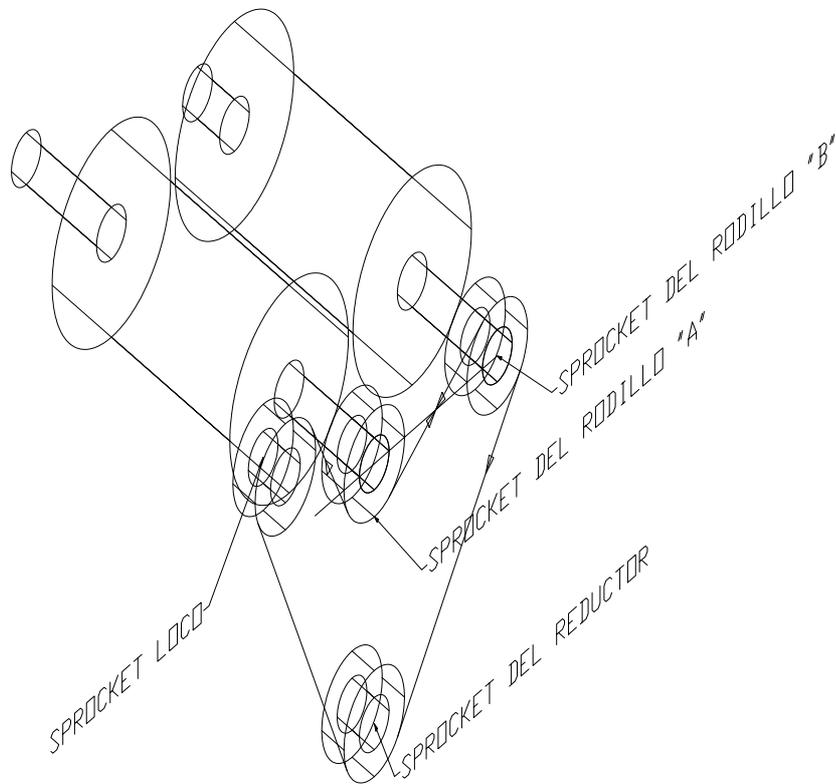


Figura 3.1. Transmisión de potencia por cadena.

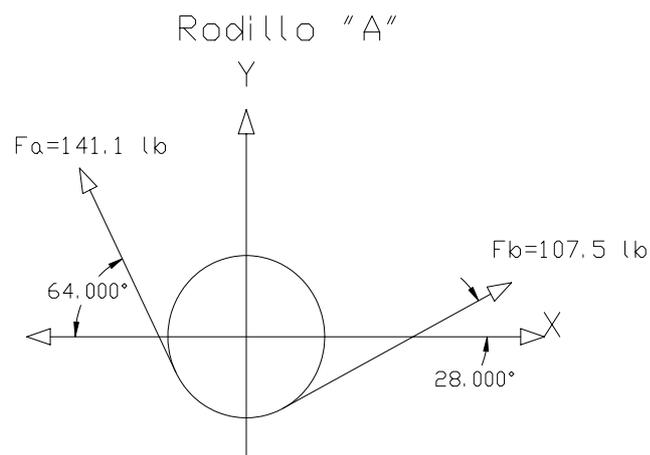


Figura 3.2. Magnitud y dirección de las fuerzas causadas por la transmisión por cadena en el rodillo "A".

Las fuerzas en el sprocket de este rodillo se calcularon de la manera siguiente:

Calculo de la fuerza “a” (Fa).

$$\text{Torque} = \text{Tensión máxima} \cdot (\text{Diámetro de paso} / 2)$$

$$\text{Tensión máxima} = 2 \text{ Torque} / \text{Diámetro de paso.}$$

$$\text{Tensión máxima} = 2(144 \text{ lb-pul}) / 2.041 \text{ pul.}$$

$$\text{Tensión máxima} = \underline{141.1 \text{ lb.}}$$

$$\underline{F_a = 141.1 \text{ lb}}$$

Calculo de la fuerza “b” (Fb).

$$\text{Momento de torsión} = 33.6 \text{ lb}(2 \text{ pul}) = \underline{67.2 \text{ lb.pul}}$$

$$\sum M_o = 0$$

$$F_b(2 \text{ pul}) - 141.1 \text{ lb.pul}(2 \text{ pul}) = 0$$

$$F_b = \frac{141.1 \text{ lb.pul}(2 \text{ pul}) - 67.2 \text{ lb.pul}}{2 \text{ pul}} = 107.5 \text{ lb}$$

$$\underline{F_b = 107.5 \text{ lb.}}$$

Obteniendo las magnitudes y direcciones de las fuerzas actuantes en el eje cuyo extremo está sometido a la transmisión de potencia, se pueden determinar las fuerzas resultantes que actúan en el plano horizontal y vertical para ser aplicadas en el diseño del eje como se vera más adelante. La determinación se realizo de la siguiente manera, en el rodillo “A”:

$$\text{Cos } 64^\circ = F_{ax} / 141.1 \text{ lb}$$

$$F_{ax} = \text{Cos } 26^\circ (141.1) = \underline{61.85 \text{ lb}}$$

$$\text{Cos } 28^\circ = F_{bx} / 107.5 \text{ lb}$$

$$F_{bx} = \text{Cos } 28^\circ (110.4) = \underline{94.916 \text{ lb.}}$$

$$\text{Sen } 64^\circ = F_{ay} / 141.1 \text{ lb}$$

$$F_{ay} = \text{Cos } 26^\circ (141.1) = \underline{126.81 \text{ lb}}$$

$$\text{Sen } 28^\circ = F_{by} / 107.5 \text{ lb}$$

$$F_{by} = \text{Sen } 28^\circ (107.5) = \underline{50.468 \text{ lb.}}$$

$$\sum F_x = \underline{33.06 \text{ lb.}}$$

$$\sum F_y = \underline{177.28 \text{ lb.}}$$

Una vez obtenidas las fuerzas actuantes, se procede a calcular el diámetro del eje del rodillo analizando este como una viga simplemente apoyada, para obtener los

momentos de flexión y torsión actuantes. Los datos así obtenidos, son utilizados en la formula siguiente.

$$d^3 = \frac{32n}{S_y} \sqrt{(K_b M_b)^2 + (K_t M_t)^2}$$

Donde: d = Diámetro del eje.

n = Factor de seguridad.

S_y = Módulo de elasticidad.

K_b = Factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento flector.

M_b = Momento de flexión.

K_t = Factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento de torsión.

M_t = Momento de torsión.

Los factores K_b y K_t se obtienen a partir de una tabla para ejes de rotación (Apéndice C).

Cálculos correspondientes a la Figura 3.5., para la determinación del diámetro del eje correspondiente al rodillo A.

Plano horizontal (X)

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{ax} - 5.6 \text{ lb/pul}(7.875 \text{ pul}) - R_{bx} + 33.06 \text{ lb}$$

$$R_{ax} - R_{bx} = 11.04 \text{ lb.}$$

$$\sum \text{Max} = 0$$

$$0 = \frac{-5.6 \text{ lb / pul}(7.875 \text{ pul})^2}{2} - \text{Rbx}(7.875 \text{ pul}) + 33.06 \text{ lb}(9.313 \text{ pul})$$

$$0 = -173.64 \text{ lb/pul} - 7.875 \text{ pul Rbx} + 307.8 \text{ lb/pul}$$

$$\text{Rbx} = 17.04 \text{ lb.}$$

$$\text{Rax} = \text{Rbx} + 11.04 \text{ lb}$$

$$\text{Rax} = 17.04 \text{ lb} + 11.04 \text{ lb}$$

$$\text{Rax} = 28.08 \text{ lb.}$$

Plano vertical (Y)

$$\sum \text{Fy} = 0$$

$$-6.25 \text{ lb} + \text{Ray} - 6.21 \text{ lb} - \text{Rby} + 178 \text{ lb} = 0$$

$$\text{Ray} - \text{RbY} = -165.54 \text{ lb}$$

$$\sum \text{May} = 0$$

$$0 = 6.25 \text{ lb}(1.438 \text{ pul}) - 6.21 \text{ lb}(3.938 \text{ pul}) - \text{Rby}(7.875 \text{ pul}) + 178 \text{ lb}(9.313 \text{ pul})$$

$$0 = 8.988 \text{ lb.pul} - 24.455 \text{ lb.pul} + 7.875 \text{ pul Rby} - 1657.714 \text{ lb.pul}$$

$$\text{Rby} = 208.52 \text{ lb.}$$

$$\text{Ray} = \text{Rby} - 165.54$$

$$\text{Ray} = 208.52 \text{ lb} - 165.54 \text{ lb}$$

$$\text{Ray} = 42.98 \text{ lb.}$$

PUNTOS	MOMENTO HORIZONTAL (x) (lb-pul)	MOMENTO VERTICAL (y) (lb-pul)	MOMENTO RESULTANTE (R) (lb-pul)
RA	0	47.5	47.5
RB	47.54	255.8	260.2

$$d^3 = \frac{32n}{S_y} \sqrt{(\text{KbMb})^2 + (\text{KtMt})^2}$$

$$d^3 = \frac{32(2)}{\pi(10250 \text{ lb/pul}^2)} \sqrt{(1.5 \times 260.2)^2 + (1.5 \times 141.1)^2}$$

$$d^3 = 0.002(443.993) = 0.882$$

$$d = \sqrt[3]{0.882}$$

$$d = 0.959 \text{ pul.}$$

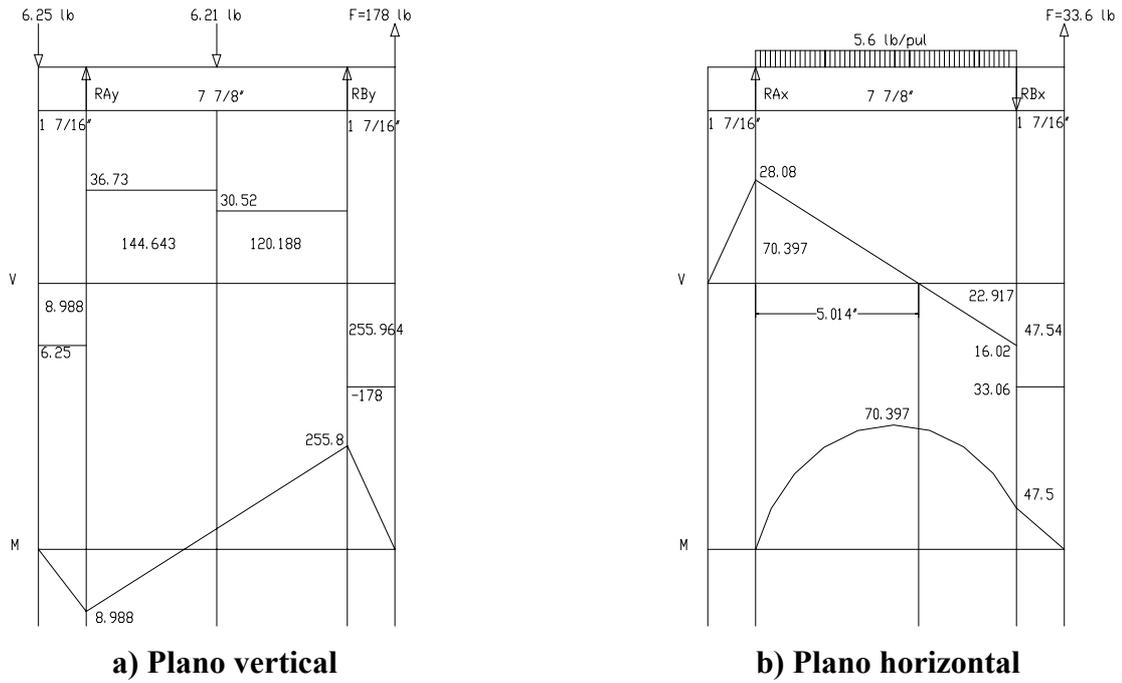


Figura 3.3. Diagramas de corte y momentos en el rodillo "A".

Las fuerzas actuantes en el rodillo "B" se obtuvieron a partir del análisis en el rodillo "A". De igual forma estas se descompusieron en sus componentes horizontales y verticales de acuerdo a la Figura 3.6.

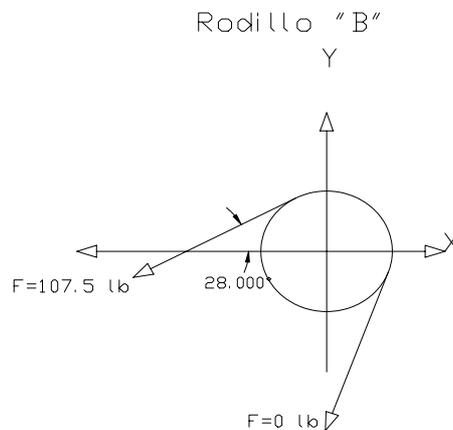


Figura 3.4. Magnitud y dirección de las fuerzas causadas por la transmisión por cadena en el rodillo "B".

$$\cos 28^\circ = F_x / 107.5 \text{ lb}$$

$$\text{Sen } 28^\circ = F_y / 107.5 \text{ lb}$$

$$F_x = \cos 28^\circ (107.5 \text{ lb})$$

$$F_y = \text{Sen } 28^\circ (107.5 \text{ lb})$$

$$F_x = 94.917 \text{ lb.}$$

$$F_y = 50.468 \text{ lb}$$

Una vez que se han descompuesto las fuerzas se procede al análisis del eje como si fuese una viga simplemente apoyada como se muestra en la Figura 3.7

Plano vertical (Y).

$$\sum M_{Ay} = 0$$

$$0 = -6.21 \text{ lb}(3.969 \text{ pul}) + R_{by}(7.938 \text{ pul}) - 50.468 \text{ lb}(9.376 \text{ pul})$$

$$0 = -24.647 \text{ lb.pul} + 7.938 \text{ pul} - 473.188 \text{ lb.pul}$$

$$0 = -497.83 \text{ lb.pul} + 7.938 \text{ pul} R_{by}$$

$$R_{by} = \frac{-497.83 \text{ lb.pul}}{-7.938 \text{ pul}} = 62.715 \text{ lb}$$

$$M_{by} = 0$$

$$0 = -50.468 \text{ lb}(1.438 \text{ pul}) + 6.21 \text{ lb}(3.969 \text{ pul}) - R_{Ay}(7.938 \text{ pul})$$

$$0 = -72.573 \text{ lb.pul} + 24.647 \text{ lb.pul} - 7.938 \text{ pul} R_{Ay}$$

$$0 = -47.92 \text{ lb.pul} - 7.938 R_{Ay}$$

$$R_{Ay} = \frac{-47.92 \text{ lb.pul}}{-7.938 \text{ pul}} = -6.037 \text{ lb}$$

Plano horizontal (X).

$$\sum M_{Ax} = 0$$

$$0 = -44.453 \text{ lb}(3.969 \text{ pul}) + R_{Bx}(7.938 \text{ pul}) + 94.917 \text{ lb}(9.376 \text{ pul})$$

$$0 = -176.344 \text{ lb.pul} + 7.938 \text{ pul} R_{Bx} + 889.942 \text{ lb.pul}$$

$$0 = 713.5 \text{ lb.pul} + 7.938 \text{ pul} R_{Bx}$$

$$R_{Bx} = \frac{713.5 \text{ lb.pul}}{-7.938 \text{ lb.pul}} = -89.885 \text{ lb}$$

$$\sum M_{Bx} = 0$$

$$0 = 94.917 \text{ lb}(1.438 \text{ pul}) + 44.453 \text{ lb}(3.969 \text{ pul}) - R_{Ax}(7.938 \text{ pul})$$

$$0 = 136.491 \text{ lb.pul} + 176.434 \text{ lb.pul} - 7.938 R_{Ax}$$

$$0 = 312.925 \text{ lb.pul} - 7.938 R_{Ax}$$

$$R_{Ax} = \frac{312.925 \text{ lb.pul}}{7.938 \text{ pul}} = 39.421 \text{ lb}$$

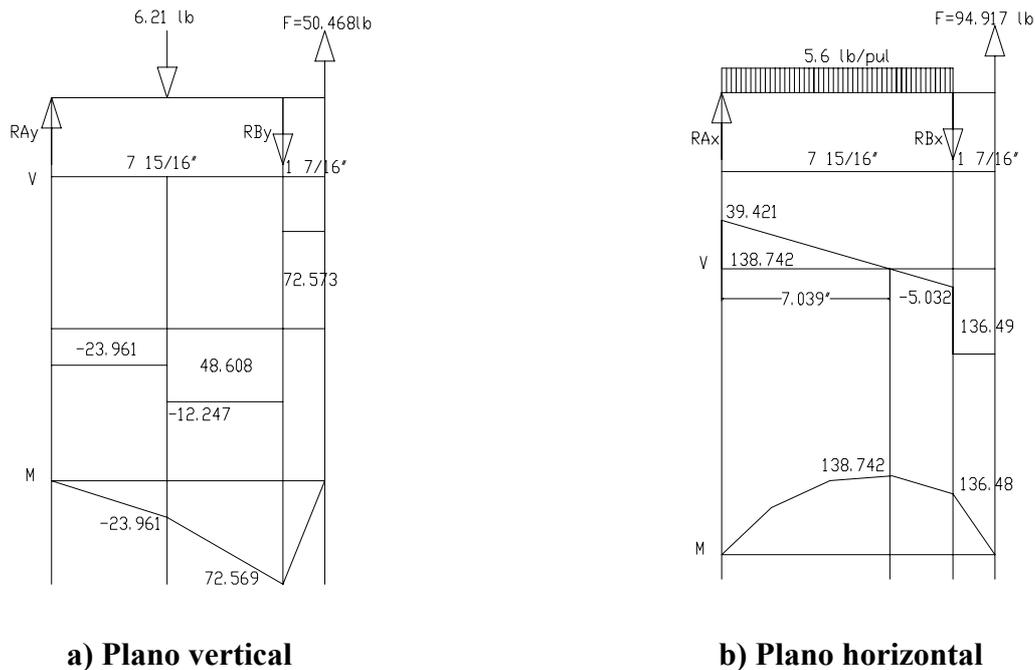


Figura 3.5. Diagramas de corte y momentos en el rodillo “B”.

Con los cálculos anteriores se tiene que el diámetro adecuado del eje para el rodillo en el cual las cargas son mayores (rodillo A), es aproximadamente de una pulgada por lo que se opta su fabricación con este diámetro.

3.4.3. Diseño de la transmisión de potencia.

En tanto a la determinación de las características de la cadena y sprocket se efectuaron tomando en cuenta que el reductor proporciona una velocidad de 86 RPM y el motor es de $\frac{1}{4}$ HP, y que los rodillos deben de girar a 86 r.p.m. además se considera un factor de servicio de 1.5 debido al impacto y el origen de la potencia de entrada (Apéndice D). Por tanto se tiene:

a) Potencia de diseño.

$$(.25 \text{ HP})(1.5) = \underline{.38 \text{ HP}}$$

b) Paso y numero de cadena.

Del gráfico de capacidades (Apéndice E), se tiene que la cadena es número 35 con paso de $\frac{3}{8}$ ".

c) Numero de dientes (N), paso y diámetro de paso (Dp) del sprocket.

- El número de dientes recomendado para evitar el efecto de choque entre la cadena y el sprocket es de un mínimo de 17 dientes, por lo que usaremos sprockets de esta cantidad de dientes.
- El paso es el mismo que se determinó para la cadena, siendo de paso $\frac{3}{8}$ ".
- El diámetro de paso del sprocket se determina como sigue:

$$\text{Diámetro de paso}(D_p) = \frac{\text{Paso}}{\text{Sen}(180^\circ/N)} \quad D_p = \frac{.375\text{pul}}{\text{Sen}(180^\circ/17)} = 2.041\text{pul}$$

3.4.4. Diseño de cuñas.

a) Cuñas para el eje del motor y del eje de alta velocidad del reductor.

El material de la cuña es acero 1020, con un módulo de elasticidad (S_y) de 30,000 lb/pul²; y de acuerdo con la relación del diámetro del eje (Apéndice F), la cuña es cuadrada de 1/8" de sección correspondiente a un eje de 1/2" de diámetro.

$$\text{Torque}(\tau) = \frac{63,000\text{Hp}}{\text{rpm}} = \frac{63,000(.25\text{Hp})}{1725 \text{rpm}} = 9.130 \text{lb.pul}$$

- Esfuerzo por torsión que puede soportar la cuña, desde el punto de vista del corte.

$$T_s = S_s bLr \quad S_s = 0.5S_y/N$$

Donde: T_s = Esfuerzo de torsión en la cuña.

S_s = Esfuerzo de corte en la cuña.

b = Ancho de la cuña.

L = Longitud de la cuña.

r = Radio del eje.

S_y = Módulo de elasticidad.

$$S_s = \frac{0.5(30,000\text{lb/pul}^2)}{3} = 5000 \text{ lb/pul}^2$$

$$T_s = (5000\text{Lb/pul}^2)(.125\text{pul})(1\text{pul})(.25\text{pul})$$

$$T_s = 156.25\text{lb.pul}$$

- Esfuerzo de corte en la cuña.

$$S_{sc} = \frac{\text{Torque}}{bLr}$$

$$S_{sc} = \frac{9.130\text{lb.pul}}{(.125\text{pul})(1\text{pul})(.25\text{pul})} = 292.16 \text{ lb/pul}^2$$

- Esfuerzo de corte en el eje.

$$S_{se} = \frac{Tc}{J} \quad c = \frac{D}{2} \quad J = \frac{\pi D^4}{32}$$

$$c = \frac{.5\text{pul}}{2} = .25\text{pul} \quad J = \frac{\pi(0.5)^4}{32} = 0.006 \text{ pul}^4$$

$$S_{se} = \frac{9.130\text{lb.pul}(.25\text{pul})}{0.006\text{pul}^4} = 380.42 \text{ lb/pul}^2$$

- Esfuerzo de corte que soporta el eje.

Material del eje: Acero 4140 TTA, con un S_y de $152,000\text{lb/pul}^2$ de $\frac{1}{2}$ " de diámetro.

$$T_{se} = \frac{0.5S_y}{N} = \frac{0.5(152,000\text{lb/pul}^2)}{3} = 25,333.3 \text{ lb/pul}^2$$

b) Cuñas para el eje de baja velocidad del reductor.

Torsión de salida 144 lb.pul , eje de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, fabricado en acero 4140 TTA. El material de la cuña es acero 1020 y de $\frac{3}{16}$ " de sección cuadrada.

- Esfuerzo por torsión que puede soportar la cuña, desde el punto de vista del corte.

$$T_s = S_s b L r \qquad S_s = 0.5 S_y / N$$

$$S_s = \frac{0.5(30,000 \text{ lb/pul}^2)}{3} = 5,000 \text{ lb/pul}^2$$

$$T_s = (5000 \text{ lb/pul}^2)(1.188 \text{ pul})(1 \text{ pul})(.375 \text{ pul})$$

$$T_s = 352.5 \text{ lb.pul}$$

- Esfuerzo de corte en la cuña.

$$S_{sc} = \frac{\text{Torque}}{b L r}$$

$$S_{sc} = \frac{144 \text{ lb.pul}}{(1.188 \text{ pul})(1 \text{ pul})(.375 \text{ pul})} = 2042.5 \text{ lb/pul}^2$$

- Esfuerzo de corte en el eje.

$$S_{se} = \frac{T_c}{J} \qquad c = \frac{D}{2} \qquad J = \frac{\pi D^4}{32}$$

$$c = \frac{.75 \text{ pul}}{2} = .375 \text{ pul} \qquad J = \frac{\pi (.75 \text{ pul})^4}{32} = 0.031 \text{ pul}^4$$

$$S_{se} = \frac{144 \text{ lb.pul}(.375 \text{ pul})}{0.031 \text{ pul}^4} = 1741.93 \text{ lb/pul}^2$$

- Esfuerzo de corte que soporta el eje.

Material del eje: Acero 4140 TTA, con un S_y de 152,000 lb/pul² de 3/4" pul de diámetro.

$$T_{se} = \frac{0.5 S_y}{N} = \frac{0.5(152,000 \text{ lb/pul}^2)}{3} = 25,333.3 \text{ lb/pul}^2$$

c) Cuña para el eje de los rodillos.

El material del eje es Nylamid con una $S_y = 10250 \text{ lb/pul}^2$, con una resistencia a la torsión de 7535.05 lb/pul^2 .

- Esfuerzo por torsión que puede soportar la cuña, desde el punto de vista del corte.

$$T_s = S_s b L r \qquad S_s = 0.5 S_y / N$$

$$S_s = \frac{0.5(10250 \text{ lb/pul}^2)}{3} = 1708.3 \text{ lb/pul}^2$$

$$T_s = (1708.3 \text{ lb/pul}^2)(.25 \text{ pul})(1 \text{ pul})(.5 \text{ pul})$$

$$T_s = 213.542 \text{ lb.pul}$$

- Esfuerzo de corte en la cuña.

$$S_{sc} = \frac{\text{Torque}}{b L r}$$

$$S_{sc} = \frac{141.1 \text{ lb.pul}}{(.25 \text{ pul})(1 \text{ pul})(.5 \text{ pul})} = 1128.8 \text{ lb/pul}^2$$

- Esfuerzo de corte en el eje.

$$S_{se} = \frac{T_c}{J} \qquad c = \frac{D}{2} \qquad J = \frac{\pi D^4}{32}$$

$$c = \frac{.75 \text{ pul}}{2} = .375 \text{ pul} \qquad J = \frac{\mu(1 \text{ pul})^4}{32} = 0.098 \text{ pul}^4$$

$$S_{se} = \frac{141.1 \text{ lb.pul} (.5 \text{ pul})}{0.098 \text{ pul}^4} = 719.9 \text{ lb/pul}^2$$

- Esfuerzo de corte que soporta el eje.

$$S_s = \frac{0.5(10250 \text{ lb/pul}^2)}{3} = 1708.3 \text{ lb/pul}^2$$

3.4.5. Diseño de poleas.

Según Baumeister et al. (1988), las transmisiones de banda en V de una fracción de caballo, o sea de servicio ligero, se emplean típicamente en maquinas de lavar, ventiladores, bombas centrífugas, etc., y que también son proyectadas para poleas de diámetro pequeño y sobre transmisiones en que solo se requiere una banda.

Tomando en cuenta que el rodillo que transmite el movimiento al eje de la zaranda gira a 86 r.p.m. y que se desea aumentar estas a 150 r.p.m. se propuso un diámetro de la polea mayor de $2\frac{1}{2}$ pulgadas encontrando que el diámetro de la polea menor es de $1\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro, lo cual se demuestra como sigue:

$$d = D \frac{n_1}{n_2}$$

Donde: d = Diámetro de la polea menor.

D = Diámetro de la polea mayor.

n_1 = Revoluciones por minuto del eje impulsor.

n_2 = Revoluciones por minuto del eje impulsado

$$d = 2.5 \text{ pul} \frac{86 \text{ rpm}}{150 \text{ rpm}} = 1.43 \text{ pul} \approx 1.5 \text{ pul}$$

Para esta transmisión se eligió una banda de caucho denominada 3L para servicio ligero, la cual tiene $\frac{3}{8}$ " de ancho y un espesor de $\frac{7}{32}$ "

3.4.6. Diseño del resorte.

A partir de las fuerzas que actúan en el rodillo montado en las bases corredizas, se obtuvieron las reacciones en los puntos de apoyo, encontrando que en el rodamiento cercano a la transmisión de potencia la reacción calculada es de 89.885 lb; mientras que en el rodamiento del otro extremo donde se colocara el resorte esta es igual a 39.421 lb.

Para el diseño del resorte se propone alambre para resorte estirado en frío con un módulo de rigidez (G) de 11,500,000 lb/pul², una longitud libre (Lo) de 1¹/₂ pulgadas, un diámetro de paso (D) de ³/₄ de pulgada, permitiendo una deformación (y) de ⁵/₁₆ de pulgada, con 4 espiras activas (n o Na) y una fuerza (F) de 39.421 lb. Los cálculos correspondientes son:

- **Constante elástica o módulo de rigidez del resorte (K).**

$$K = \frac{F}{y} = \frac{39.421 \text{ lb}}{.313\text{pul}} = 125.946 \text{ lb/pul}$$

- **Diámetro del alambre para el resorte (d).**

$$y = \frac{8FD^3n}{d^4G}$$

Despejando para obtener el diámetro tenemos:

$$d = \sqrt[4]{\frac{8FD^3n}{yG}}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{8(39.241\text{lb})(.75\text{pul})^3(4)}{(.313\text{pul})(11,500,000 \text{ lb/pul})}}$$

$$d = .11\text{pul} \approx 1/8\text{pul}$$

- **Índice del resorte (C).**

$$c = \frac{D}{d} = \frac{.75\text{pul}}{.125\text{pul}} = 6$$

- **Esfuerzo cortante en el resorte (ξ).**

$$\xi = k \frac{8FD}{d^3}$$

$$k = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0.615}{c}$$

$$k = \frac{4(6) - 1}{4(6) - 4} + \frac{0.615}{6} = 1.253$$

$$\xi = .118 \frac{8(34.232\text{lb})(.75\text{pul})}{\pi (.125\text{pul})^3} = \underline{33,562.676\text{lb/pul}^2}$$

- **Carga axial critica o pandeo (F_{cr}).**

$$F_{cr} = K L_o K_L$$

$$K_L = \frac{L_o}{D} = \frac{1.5\text{pul}}{.75\text{pul}} = 2$$

$$F_{cr} = [(109.658\text{lb/pul})(1.5\text{pul})(2)]$$

$$\underline{F_{cr} = 328.97 \text{ lb}}$$

- **Numero de espiras totales (N_t).**

$$N_t = N_a + 2$$

$$N_t = 4 + 2 = 6$$

- **Longitud cerrada (L_s).**

$$L_s = dN_t$$

$$L_s = .125\text{pul}(6) = .75\text{pul}$$

- **Paso (p).**

$$p = \frac{(L_o \cdot 2d)}{Na}$$

$$p = \frac{(1.5\text{pul})(2)(.125\text{pul})}{4}$$

$$p = \underline{0.313 \text{ pul}}$$

IV.- RESULTADOS

En el análisis efectuado al diseño de la máquina preparadora para muestras de suelo, se obtuvieron los siguientes resultados:

- 1.- Para las flechas de transmisión, se determino que los diámetros que se deben usar son de 1" de acuerdo a la teoría del esfuerzo cortante máximo.
- 2.- Los baleros propuestos para las flechas deberán estar protegidos contra polvo (marca recomendada SKF).
- 3.- Para obtener el torque y velocidad de rotación sugerida por el diseño, se propone utilizar un reductor de velocidad con una relación total del tren de 20:1 con un torque de salida de 144 lb-pul, y una velocidad de 86 r.p.m.; accionado por un motor de $\frac{1}{4}$ HP.
- 4.- La transmisión es considerada de cadena, ya que esta logra una perfecta sincronía, la cual tiene las siguientes características:
 - Cadena de paso $\frac{3}{8}$ ", ANSI 35 (American National Standards Institute).
 - Sprockets con paso $\frac{3}{8}$ " y un diámetro de paso de 2.041".
- 5.- Para transmitir movimiento al eje que mueve la zaranda (criba), se propone una transmisión de banda de caucho en V, con sus respectivas poleas.
- 6.- Previendo que dentro de las muestras que se puedan tratar con esta maquina, existan materiales extraños que sobrepasen la calibración de la abertura y fuerza de los rodillos, el diseño muestra un mecanismo que permitirá el paso de estas sin dañar los mecanismos de reducción, el cual consta de un resorte helicoidal con extremos cerrados con una longitud libre de $1\frac{1}{2}$ ", un diámetro de alambre de $\frac{1}{8}$ ", 6 espiras, diámetro medio de $\frac{3}{4}$ " y propuesto de alambre para resorte estirado en frío ASTM 227.47 con dureza Rockwell de 60-70.

V.- DISCUSION

Principalmente este equipo pretende aumentar la cantidad de muestras preparadas que con el método tradicional (rodillo de madera), en menor tiempo y con menos esfuerzo por parte de la persona responsable.

Además comparativamente con otro equipo utilizado para este fin como es el molino de percusión de etapa múltiple, el diseño propuesto, evita el atascamiento del mecanismo de separación en el caso de que entrara un cuerpo extraño en el (metal, materiales con dureza extrema, etc.) como sucede en el de percusión.

El ajuste para mejorar la separación de agregados, se realiza de una forma más fácil que en el molino de percusión, debido a que en este se tienen que mover cada uno de los batidores fijos los que son varios, mientras que en el equipo propuesto solo basta con girar un par de manivelas para realizar este ajuste.

Tomando en consideración el tiempo de preparado de muestras entre los equipos mencionados, se pretende que este no sea tan significativamente diferente.

VI.- CONCLUSIONES

Se puede decir que el diseño propuesto aporta los elementos necesarios para la fabricación del prototipo preparador de muestras de suelo.

Además el diseño considera materiales de bajo costo pero que reúnen las características deseadas, por lo que es considerado como una propuesta aceptable desde el punto de vista económico.

Por otra parte este diseño presenta las siguientes ventajas:

- Muestra un sistema de montajes para los rodillos que permiten la protección de estos a la sobrecarga.
- Contiene mecanismos de separación de agregados y selección de tamaños utilizados comúnmente en los procedimientos de laboratorio para determinar las clases texturales de suelos.
- Se aporta un sistema de ajuste en la separación de los rodillos de acuerdo al efecto que causen en la separación de agregados.

VII.- RESUMEN

El presente trabajo, se refiere al diseño de una maquina para preparar muestras de suelo, partiendo de la necesidad de un equipo que logre separar los agregados en sus componentes menores y clasificarlos de acuerdo al tamaño requerido.

Por lo que aquí se muestra el diseño de un equipo de costo relativamente bajo para separar los agregados por medio de la acción de compresión entre dos rodillos colocados paralelamente entre ellos, y que selecciona los tamaños de componentes que forman los agregados por medio de una zaranda (criba).

El diseño propiamente dicho, partió de la fuerza requerida para vencer la cohesión de los agregados (terrones) existentes en las muestras de suelo, y de la cual necesariamente se tomo la pauta para el diseño de las partes principales del equipo, como los ejes de los rodillos y la transmisión de potencia esencialmente.

Posteriormente se diseñaron los montajes para los rodillos y de acuerdo al tamaño de las muestras se dimensionó la tolva de alimentación, la longitud de rodillos y el tamaño de la criba a utilizar ya que dentro del procedimiento de la preparación de las muestras se especifica obtener partículas de tamaño igual y menor a 2 mm. (para determinaciones texturales).

Conjugando ideas y procedimientos de diseño, finalmente se obtuvo el diseño propio del equipo auxiliándose del diseño asistido por computadora (AUTO CAD R13).

VIII.- LITERATURA CITADA

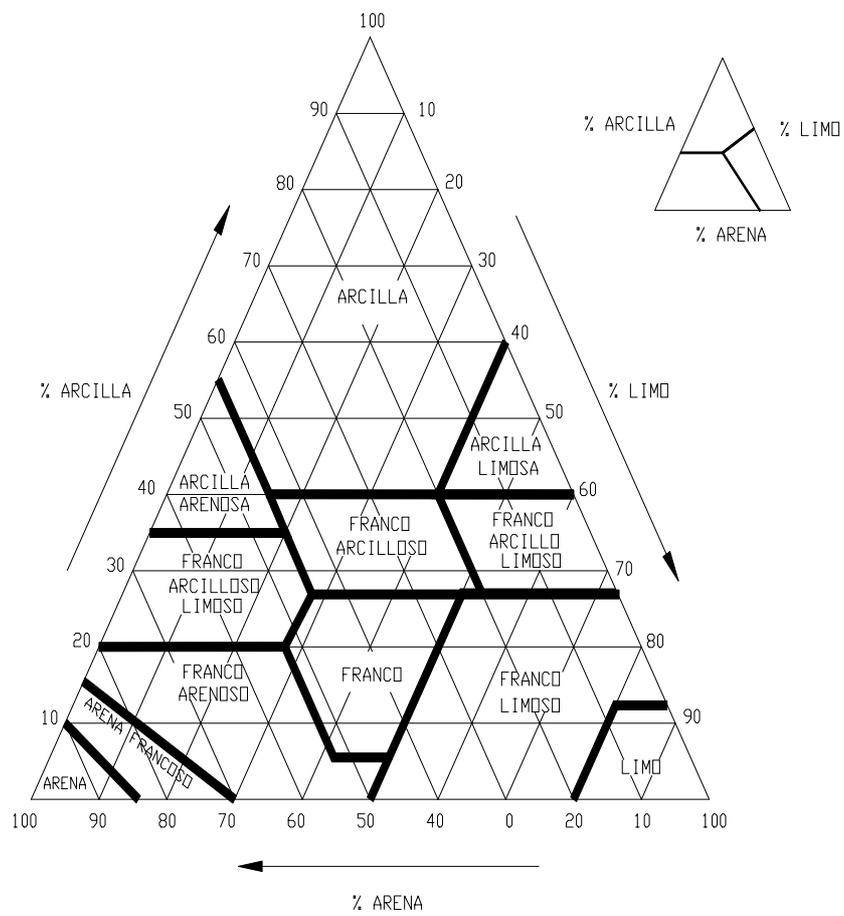
- Bowles, J. E. 1982. Propiedades Geofísicas de los suelos. MacGraw-Hill Latinoamericana. Bogota, Colombia. 560 p.
- Bukman, H.O y N.C Brandy. 1970. Naturaleza y propiedades de los Suelos. Texto para Edafología para Enseñanza. Traducido por Sarol B. R. ed. Montaner y Simón. Barcelona, España. 590 p.
- Brennan, J.G., J.R. Butters, N. D. Cowell y A. E. V. Lilly. 1970. Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. Traducido por Alemán J. V. Acribia. Zaragoza, España. 422 p.
- Baver, L.D., W.H. Garner y W.R. Garner. 1973. Física de Suelos. Hispano-Americana. México. 642 p.
- Baumaster, T., E. A . Avallone y T. Baumaster III. 1984. Marks. Manual del Ingeniero Mecánico, Volumen II. 2 ed. McGraw-Hill. México. 19-44 p.
- Earle, R.L. , 1968. Ingeniería de los Alimentos. Las Operaciones Básicas Aplicadas a las Tecnologías de los alimentos. Traducido por Alemán J.V. Acribia. Zaragoza, España. 332 p.
- Grist, D.H. 1982. Arroz. 5 ed. Continental. México. 716 p.
- Gavande, S.A. 1982. Física de suelos. Principios y Aplicaciones. Limusa. México. 350 p.
- Hall, A.S Jr., A.R. Holowenko y H.G. Laughlin. 1970. Teoría y Problemas de Diseño de Maquinas. McGraw-Hill Book Company. U.S.A.
- Jensen, C.H. 1992. Dibujo y Diseño de Ingeniería. McGraw-Hill. México. 760 p.
- Juárez, B.,E. y A. Rico R. 1989. Mecánica de Suelos Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Limusa. México. 642 p.
- Jerie, G.D. y W. Heepke. 1951. Elementos de Máquinas Elevadoras. 3 ed. Labor. España. 800 p.
- Narro, F. E. 1994. Física de suelos. Con enfoque Agrícola. Trillas. México. 193 p.

- Oberg, E.O., F.D. Jones y H.L. Horton. 1984. Manual Universal de la Técnica Mecánica. 2 ed. Labor. España. 2446 p.
- Shigley, J.E. y C.R. Mischke. 1990. Diseño en Ingeniería Mecánica. 4 ed. McGraw-Hill Interamericana. México. 883 p.
- Taggart, A.F .1944 Handbook of mineral Dressing. Ores and Industrial Mineral. Columbia United. New York, U.S.A. 630 p.
- Wills, B.A. 1992 Mineral Processing Technology. 5 ed. BPC Wheatons Ltd. Great Britain, England. 760 p.
- Henin, S., R Gras y G. Monnier. 1972. El Perfil Cultural (Estado Físico del Suelo y sus Consecuencias Agronómicas). Montaner y Simon. Barcelona, España . 340 p.

APENDICE

APENDICE A

TRIANGULO DE TEXTURAS



APENDICE B

DIBUJOS

APENDICE C

**VALORES DEL FACTOR COMBINADO DE CHOQUE Y FATIGA,
APLICADO AL MOMENTO FLECTOR (KB) Y DEL FACTOR COMBINADO
DE CHOQUE Y FATIGA, APLICADO AL MOMENTO DE TORSIÓN(KT)
PARA EJES EN ROTACIÓN.**

TIPO DE CARGA	Kb	Kt
Carga aplicada gradualmente □	1.5 □	1.0 □
Carga repentina (choque menor) □	1.5 a 2.0 □	1.0 a 1.5 □
Carga repentina (choque fuerte) □	2.0 a 3.0 □	1.5 a 3.0 □

APENDICE D

**FACTORES DE SERVICIO Y DE ANCHOS MÚLTIPLES PARA
TRANSMISIONES DE CADENA.**

FACTORES DE SERVICIO PARA CADENAS SENCILLAS				FACTORES DE ANCHOS MULTIPLES	
La capacidad de cadenas múltiples es igual a la de las cadenas sencillas, multiplicadas por el factor de anchos múltiples.					
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> TIPO DE CARGA IMPILSADA <input type="checkbox"/>	TIPO DE POTENCIA DE ENTRADA <input type="checkbox"/>			Número de ancho <input type="checkbox"/>	Vector de anchos múltiples <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Máquinas de combustión interna con transmisión hidráulica <input type="checkbox"/>	Motor eléctrico o turbina <input type="checkbox"/>	Máquina de combustión interna con transmisión mecánica		
Suave <input type="checkbox"/>	1.0 <input type="checkbox"/>	1.0 <input type="checkbox"/>	1.2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	1.7 <input type="checkbox"/>
Impacto moderado <input type="checkbox"/>	1.2 <input type="checkbox"/>	1.3 <input type="checkbox"/>	1.4 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	2.5 <input type="checkbox"/>
Impacto alto <input type="checkbox"/>	1.4 <input type="checkbox"/>	1.5 <input type="checkbox"/>	1.7 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	3.3 <input type="checkbox"/>

APENDICE E

GRAFICO DE CAPACIDADES

APENDICE F

**DIMENSIONES EN PULGADAS PARA ALGUNAS APLICACIONES DE
CHAVETAS RECTANGULARES Y CUADRADAS DE TIPO ESTÁNDAR.**

DIAMETRO DE EJE (PULG.)		TAMAÑO DE CHAVETA (PULG)		PROFUNDIDAD DE CHAVETERO (PULG.)
DE	HASTA	ANCHO	HALTO	
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$ $\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$ $\frac{1}{8}$	$\frac{3}{64}$ $\frac{1}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$ $\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$ $\frac{3}{16}$	$\frac{1}{16}$ $\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$ $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$ $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{32}$ $\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$ $\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$ $\frac{5}{16}$	$\frac{1}{8}$ $\frac{5}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$ $\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$ $\frac{3}{8}$	$\frac{1}{8}$ $\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$ $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$ $\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$ $\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$ $\frac{5}{8}$	$\frac{7}{32}$ $\frac{5}{15}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$ $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$ $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$ $\frac{3}{8}$