



**UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**MONOGRAFÍA**

**Título: CONCEPCIÓN Y DISEÑO DE MÁQUINA TRILLADORA DE  
PEQUEÑO FORMATO**

**Autores**

**Josiel Rodríguez Cabrera  
Arcadio Escudero Gutiérrez  
Ramón Hernández Alba**

**Santa Clara, Cuba**

**2013**

**“Año 55 de la Revolución”**

## **RESUMEN**

El trabajo consiste en la concepción y diseño de una máquina trilladora de pequeño formato, que, a partir del estudio de las particularidades de modelos ya existentes a nivel internacional y en Cuba, pueda ser fabricada en nuestro país, específicamente en las condiciones de trabajo y con el equipamiento existente en algunas de las empresas existentes hoy en Cuba, además que se pueda sustituir importaciones.

La realización del trabajo permitió obtener el diseño de una máquina trilladora de mediana capacidad que, por sus características, es factible de ser fabricada en las condiciones de Cuba, generalizada su entrega o venta a los pequeños productores y empresas que la requieran, en dependencia del grado de complejidad de los trabajos a ejecutar.

Para la obtención de este resultado, se consultaron modelos ya fabricados, se estudiaron en detalles las máquinas brasileñas y vietnamitas existentes en la UCLV, se consultaron a varios especialistas sobre el tema y se elaboraron diferentes variantes de la máquina con ayuda de las técnicas CAD, para después de las correcciones necesarias, arribar al diseño de la máquina que se propone.

El trabajo está expuesto en un total de 94 páginas, incluyendo 2 tablas y 48 figuras, cuenta con la introducción, tres capítulos, conclusiones y recomendaciones. Para su confección se utilizaron 38 fuentes y bibliografías, que forman un volumen general del mismo de 98 páginas.

**Tabla de contenidos**

Acápite	Contenido	Pág.
1	2	3
<b>INTRODUCCION</b>		1
<b>CAPITULO I: SITUACION ACTUAL DEL TEMA.</b>		6
1	Máquinas trilladoras, limpiadoras y clasificadoras de granos.	8
1.1	Principio de limpieza y clasificación del grano.	8
1.1.1	Separación del grano por sus propiedades aerodinámicas.	8
1.1.2	Separación del grano por sus dimensiones.	11
1.1.3	Clasificación de las semillas de acuerdo al estado de sus superficies, formas y otros indicadores.	13
1.2	Proceso tecnológico de clasificación por cribas.	14
1.3	Tipos de máquinas limpiadoras y clasificadoras de granos.	15
1.3.1	Máquinas con cribas neumáticas.	15
1.3.2	Máquinas combinadas limpiadoras y clasificadoras de granos.	18
1.3.3	Máquina limpiadora CM – 4.	21
1.3.4	Máquinas especiales de limpieza.	23
1.3.5	Mesa neumática de clasificación. ПСС – 2.5.	25
1.3.6	Agregados mecánicos y máquinas complejas para la poscosecha de granos y obtención de semillas.	27
1.3.7	Complejo limpiador secador de granos.	30
<b>CAPÍTULO II. BASE CIENTÍFICO TEÓRICA.</b>		33
2	Fundamentos de la teoría y el cálculo de la limpieza y clasificación de los granos.	32
2.1	Propiedades aerodinámicas de los granos.	36
2.1.1	Velocidad crítica.	36

2.1.2	Coeficiente de resistencia al aire (K).	36
-------	---	----

Continuación. Tabla de contenidos.

2.1.3	Otras propiedades tecnológicas de los granos.	38
2.2	Proceso de trabajo de las cribas o tamices.	39
2.2.1	Condiciones del movimiento del material por el plano oscilante.	40
2.2.2	Condiciones de penetración del grano en el orificio del tamiz.	43
2.3	Régimen cinemático del tamiz.	45
2.3.1	Velocidad media de movimiento del material.	47
2.3.2	Calidad del trabajo y productividad del tamiz.	50
2.3.3	Productividad del tamiz (Q).	52
2.4	Cálculo de los parámetros fundamentales de los tamices vibratorios.	53
2.5	Proceso de trabajo de la corriente de aire.	55
2.5.1	Flujo vertical de aire.	55
2.5.2	Corriente inclinada de aire.	58
2.6	Productividad de la limpieza neumática.	61
2.7	Teoría y cálculo de los ventiladores.	62
2.7.1	Ecuación del ventilador.	62
2.7.2	Relaciones fundamentales de los parámetros de trabajo de los ventiladores.	64
2.8	Características de los ventiladores.	66
2.8.1	Características cuantitativas de los ventiladores.	66
2.8.2	Características cualitativas.	69
2.9	Cálculo de los ventiladores agrícolas.	69
2.10	Cálculo de las instalaciones neumáticas y transportadoras.	73
2.11	Trabajo conjunto de tamiz con la corriente de aire.	75

2.12	Trabajo de los tambores trilladores.	77
2.12.1	Teoría de la trilla.	77

Continuación. Tabla de contenidos.

2.12.2	Fuerza axial de movimiento del grano en el cilindro.	81
2.12.3	Dimensiones principales y productividad de las trilladoras.	82
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN Y SU ANÁLISIS.</b>		85
3.1	Partes fundamentales de la máquina de trillar.	85
3.2	Principio de funcionamiento.	86
3.3	Detalles de las partes fundamentales de la máquina.	87
3.3.1	Detalles del bastidor o chasis.	87
3.3.2	Detalles de la tolva de alimentación.	88
3.3.3	Detalles del tambor de trilla	89
3.4	Funcionamiento de la máquina	90
3.5	Otros detalles y vistas de la máquina.	91
<b>CONCLUSIONES</b>		
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		

## INTRODUCCIÓN

En sus inicios, las máquinas trilladoras destinadas a separar el grano de la paja o espiga, consistían en una tabla de aproximadamente 1 m de ancho por 1.5 – 2 m de largo con el borde delantero levantado, donde el borde inferior se llenaba de piedras ubicadas en hileras para que tuvieran efecto de corte.

En otros tipos de máquinas antiguas, el agricultor se subía a ellas para hacer peso, mientras que una vaca, buey o caballo, tiraban de ella en forma de círculo sobre montones de cereales, por ejemplo trigo ya seco, separando así el grano de las espigas. [14]. Figura 1.

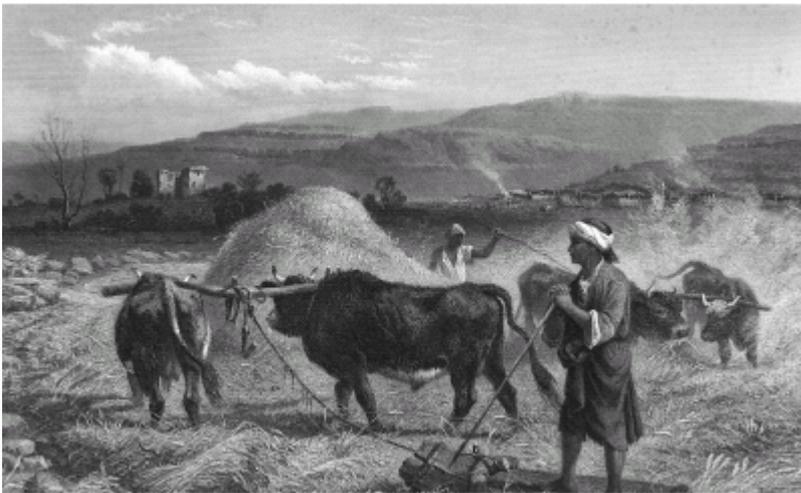


Figura 1 Trillo tradicional.

Hasta el siglo XIX, las herramientas manuales eran el único medio de recolectar el grano y ello, a saber, fue así desde los años 1 400 A.C. [14; 16; 19].

Según la Historia, fue en Egipto donde por primera vez se usaron hoces y luego guadañas para la siega, trillos y batidores de cuero para la trilla, aventado manual para la limpia, etc.

De este modo, se fueron desarrollando dispositivos para la siega y agavillado que culminaron en la construcción de segadoras – agavilladoras – atadoras y otras máquinas arrastradas por la caballería, que fue la primera fuente energética usada para ayudar a la recolección del grano y su posterior limpieza.

Las máquinas trilladoras, ya usadas en Escocia en el siglo XVIII, se difundieron de forma generalizada en todo el mundo desarrollado a partir de la segunda mitad del siglo XIX, fecha en que comienzan a difundirse las cosechadoras que combinan las operaciones de siega – trilla y limpia de manera autopropulsada o con ayuda del tractor como fuente motriz.

Las primeras cosechadoras eran accionadas por medio de sus propias ruedas (años 1880) y eran tiradas por grupos considerables de animales, (hasta 40 caballos o mulas) y luego por dos o más tractores de vapor hasta inicios del siglo XX. [19].

Más adelante se pasó a las cosechadoras tiradas por el tractor; estas poseían su propio motor de gasolina para accionar sus mecanismos y, no fue hasta alrededor de los años 30 – 40 en que en los Estados Unidos se comenzó a generalizar el uso de la cosechadora autopropulsada. [20].

En España por ejemplo, las cosechadoras comenzaron a generalizarse ya bien entrado el siglo, pues las estadísticas de 1955, relacionan alrededor de 950 máquinas de este tipo, la mayoría tiradas con ayuda del tractor.

En 1960 el número de trilladoras era aún de 20 000, las cuales convivían con las cosechadoras en número de 5 000. (3 000 de arrastre y 2 000 autopropulsadas).

Sin embargo, a fines del siglo XX la casi totalidad de las cosechadoras son autopropulsadas y por ejemplo, en España se registran unas 50 000 con 100 CV de potencia. En la actualidad, todas las operaciones de recolección, trilla y limpieza de los cereales se hacen allí de manera mecanizada y las pérdidas de granos están por debajo del 1%. [29; 34].

En Cuba, al triunfo de la Revolución el desarrollo de la mecanización era efímero y solo existían en el país alrededor de 9 000 tractores [15], repartidos fundamentalmente entre la producción de arroz, la ganadería y la preparación de suelos, desarrollándose las restantes labores agrícolas de manera manual o con la ayuda de la tracción animal.

Sin embargo, después del triunfo de la Revolución y como resultado de las excelentes relaciones comerciales establecidas con la antigua URSS, se introdujeron en el país máquinas de todo tipo que incluían tractores, combinadas, máquinas fitosanitarias, de preparación de suelos, de postcosecha y beneficio de granos, etc.; lo que hizo que la agricultura cubana

experimentara un salto cualitativo y cuantitativo tan grande que pronto resultó ser una agricultura de referencia en la región.

Al derrumbarse el campo socialista y como consecuencia de todos los fenómenos adversos que esto trajo para nuestro país, a partir de la década del 90 se observa una disminución considerable del parque de máquinas y un deterioro acelerado de la técnica, debido fundamentalmente a las siguientes cuestiones [12; 15]:

- Insuficiente suministro de piezas básicas para su reparación;
- pobre renovación del parque de máquinas;
- limitaciones de recursos energéticos;
- éxodo de personal calificado;
- falta de funciones bien definidas con su correspondiente responsabilidad;
- insuficiente base de datos para consultar o evaluar una situación determinada;
- insuficiente calidad y rigor en los balances de máquinas;
- no en todos los territorios se ha trabajado con la misma seriedad en la racionalización del trabajo en los talleres;
- Es todavía pobre la atención que se le brinda al personal vinculado a la actividad.

Muchas de estas cuestiones, derivadas de la nueva coyuntura internacional al desaparecer la URSS, fueron avizoradas por el comandante en Jefe cuando en el informe central al V congreso del Partido Comunista de Cuba expresó, [11]:

... “Aquello iba a constituir algo verdaderamente impredecible, verdaderamente increíble en la historia de la humanidad; pero algo terriblemente duro para nuestro país y para nuestra Revolución “.

Tal coyuntura y la creencia de que las dificultades económicas del período especial serían el escenario ideal para recrudecer el bloqueo y tratar de destruir la Revolución [25], hicieron que el gobierno de los Estados Unidos pusiera en vigor la llamada ley Torricelli en 1992 y, ante su evidente fracaso promulgar, casi cuatro años después, la infamante ley Helms – Burton y, empeñarse con todo su poderío e influencia internacional en recrudecer el bloqueo.

Durante los años que precedieron al período especial y hasta la fecha, no se reportan datos que indiquen que en el país hayan existido grandes

instalaciones destinadas a la trilla, limpieza y postcosecha de granos, generalizándose el uso de estas máquinas solo a pequeña escala y, generalmente con máquinas estacionarias o con máquinas combinadas procedentes del exterior, razón por la cual la experiencia acumulada a los efectos de disponer de un diseño nacional es poca.

Teniendo en cuenta esta situación, en febrero de 2012, directivos de diferentes cooperativas de la provincia de Villa Clara contactan con la dirección del departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, con el objetivo de que con ayuda de nuestros especialistas y alumnos, se diseñe una trilladora que sea posible de construir en Cuba, y que sea funcional, a los efectos de generalizar su uso entre los pequeños productores y empresas del país.

En este sentido, lograr un diseño de trilladora de pequeño formato que sea capaz de cumplir con las exigencias tecnológicas del proceso, es una tarea de actualidad e importancia para el país, y no existen referencias que indiquen el trabajo de otros investigadores en esta dirección. Por ello, el **objeto de estudio** del presente trabajo de diploma lo constituyen las trilladoras de granos y tiene por **objetivo**: concebir y diseñar una trilladora usando las técnicas CAD, de manera que sea posible su posterior construcción y comercialización a partir de las condiciones existentes en la EMI de referencia para sustituir importaciones.

El **problema científico** consiste en: definir cuáles son los parámetros de diseño que deben caracterizar la construcción de una trilladora de granos de producción nacional, de manera que esta pueda ser construida en las condiciones de trabajo y con el equipamiento instalado en la Empresa Militar Industrial, coronel “Francisco Aguiar Rodríguez” de Sancti Spíritus. Se parte para ello de la siguiente **hipótesis de trabajo**: sobre los indicadores funcionales de una máquina trilladora influyen un grupo de factores internos y externos, de los cuales el factor externo, explotación de la máquina, depende del personal asignado a esas funciones y sobre el cual en este momento no se puede influir. Sin embargo, a través de la disminución de los factores de riesgo e inexactitudes de diseño, factor interno, se puede lograr construir una máquina trilladora de granos de producción nacional, que reúna las exigencias de

trabajo y satisfaga las necesidades de nuestros pequeños productores y empresas agropecuarias del país.

Para realizar la investigación, se hicieron las consultas correspondientes a la bibliografía especializada y se tuvieron en cuenta para el diseño las ventajas de máquinas similares fabricadas en Viet Nam y Brasil disponibles en la UCLV, de manera que la propuesta en forma de diseño reúna las mejores características de ambas y elimine los defectos detectados en el funcionamiento de las mismas.

Para dar cumplimiento al objetivo propuesto, se desarrollan las siguientes **tareas de investigación:**

- 1- Determinar la situación actual sobre el desarrollo histórico y particularidades de las máquinas trilladoras.
- 2- Definir los factores que intervienen en la limpieza y clasificación de los granos.
- 3- Diseñar la máquina trilladora empleando las técnicas CAD.

## DESARROLLO

### CAPÍTULO I. SITUACIÓN ACTUAL DEL TEMA.

La palabra trillo proviene del latín *TRIBULUM* [2] y literalmente significa quebrantar algo, triturarlo, machucarlo [5], y sus orígenes se asocian al período Neo – Eneolítico, pues según consideraciones de la profesora Patricia C. Anderson del Centre d'Études Préhistoire, Antiquité de Francia, se han encontrado evidencias que señalan el origen de los trillos desde hace al menos 8 000 años en el oriente medio.

En sus inicios, el trillo era un tablero grueso hecho de varias tablas, de forma rectangular o trapecial recubierto de esquirlas cortantes de piedras o de metal, que posibilitaban separar los granos de las espigas al ser arrastradas por esa superficie. [6] Figura 1.1.



Figura 1.1 Trillo antiguo en tablones de madera.

Hoy, sin embargo, las máquinas trilladoras son combinadas complejas, capaces de realizar varias operaciones a la vez, (siega, trilla y limpia), aunque las labores tradicionales de trilla se siguen clasificando como: [4].

- Trilla golpeando las gavillas de cereal contra una piedra o madero;
- trilla haciendo pisotear la mies debidamente esparcida con ayuda de caballos o bueyes;
- trilla con masa de madera para golpear las espigas o cajetas hasta hacer salir los granos de las mismas.

Posteriormente, en la Edad Media y específicamente en Europa, aunque ha sido muy difícil encontrar evidencias por la recesión que supusieron las

invasiones bárbaras, se han encontrado trillos antiguos como el de la figura 1.2, que era usado en una puerta.

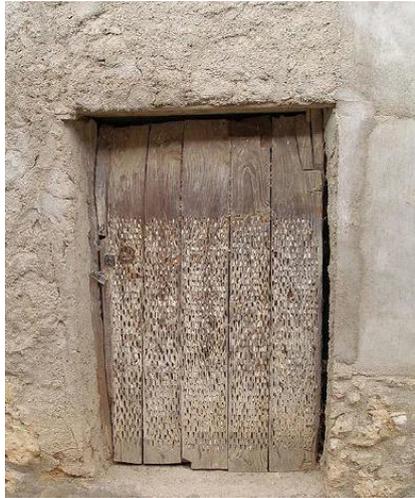


Figura 1.2 Trillo antiguo de puerta.

Sin embargo, las máquinas trilladoras y clasificadoras de granos que conocemos hoy, difieren mucho de las máquinas que dieron origen a las mismas y representan sus antecesores.

En este sentido, el trillo por así decirlo, es un apero o herramienta de trabajo agrícola que permite separar el grano de la paja o de la espiga, que ha evolucionado en la historia hasta convertirse hoy en verdaderas máquinas combinadas que realizan a la vez varios procesos. [3; 10]. Figura 1.3.



Figura 1.3 Máquina combinada trilladora moderna.

Por lo que, alrededor de estas máquinas, su teoría, diseño, construcción y explotación, se he erigido toda una ciencia, que es la que permite disponer hoy de las máquinas actuales. [7; 8; 9]

## **1. Máquinas trilladoras, limpiadoras y clasificadoras de granos. [28]**

### **1.1 Principio de limpieza y clasificación del grano.**

El proceso de limpieza y clasificación de los granos, se fundamenta en aprovechar las diferentes propiedades que poseen las partes constituyentes de la masa general, entre las que destacan: las propiedades aerodinámicas, dimensiones, densidad, estado de la superficie, configuración, etc, y por ello, las máquinas destinadas a la limpieza y clasificación de estos materiales pueden hacer su trabajo de diferentes formas.

#### **1.1.1 Separación del grano por sus propiedades aerodinámicas.**

Al interponerse a una corriente de aire, cualquier cuerpo hace resistencia a la misma y ello depende fundamentalmente de sus dimensiones, forma, masa y de su ubicación con respecto a la corriente o flujo de aire. Mientras más resistencia haga el cuerpo a esta, obviamente, menor será su libertad de movimiento y, bajo este principio, se fundamenta el proceso de separación del grano de los residuos de cosecha e impurezas que le acompañan.

Frecuentemente, esa corriente de aire se genera por medio de ventiladores o, se logra dejando caer el grano acompañado de sus impurezas desde una altura determinada en presencia de una corriente o flujo de aire.

Si en la trayectoria de esa corriente vertical de aire se interpone un cuerpo, sobre este actúan la fuerza de gravedad (G) y la fuerza de resistencia al flujo o movimiento del aire (R).

En este caso, si (G) es mayor que (R), obviamente el cuerpo cae, desciende. Sin embargo, si (R) es menor que (G), el cuerpo se mueve hacia arriba y si (G) es igual a (R), entonces el cuerpo flota y se mantiene estático en un punto determinado con respecto a la pared de la canal o conducto neumático.

La velocidad vertical de la corriente de aire, para la cual el cuerpo se encuentra flotando o suspendido se llama velocidad de gravitación o velocidad crítica del cuerpo dado, y se representa por ( $V_{cr}$ ).

La mezcla de residuos de cosecha, impurezas, etc, que acompañan al grano, se puede separar de este solo en caso de que las velocidades críticas del grano y sus impurezas sean diferentes.

La magnitud de esa velocidad crítica se puede determinar como:

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{g}{Kp}} \quad (1.1)$$

donde:

$g$  – Aceleración de la gravedad;

$K_p$  – coeficiente de vaporización.

Debido a que ( $K_p$ ) depende de varios factores variables, su valor se determina frecuentemente en un tubo aerodinámico, destacándose que, por ejemplo, para el trigo, su valor oscila entre (8 y 11.5), para la avena entre (8.1 y 9.1) y para el chícharo entre (15.5 y 16.5) m/s, de donde se infiere que para cada tipo de cultivo existen valores determinados de ( $K_p$ ).

La velocidad crítica y el coeficiente de vaporización para uno u otro cuerpo, aunque sean los mismos, si poseen formas desiguales varían, ya que estos dependen del área sobre la cual actúa la corriente de aire. Por ejemplo, para el grano de trigo, el área de su superficie será muy poca si se encuentra alineado por alguna de sus puntas con respecto a la dirección de la corriente o flujo de aire, pero sin embargo, será grande si se encuentra ubicado de manera perpendicular a esta. Por ello, la corriente de aire generalmente se usa no para clasificar, sino para separar del grano residuos de espigas, polvo, hierbas, granos vacíos, etc.

Para obtener la corriente de aire necesaria, en las máquinas agrícolas se usan los ventiladores centrífugos, axiales y radiales. Figura 1.4

Las palas (2) de los ventiladores centrífugos figura 1.4a, giran dentro de un cuerpo (1) con escotilla (3) en una de las paredes, y empujan el aire hacia el tubo (4), por lo que, en el cuerpo se crea un vacío que hace que el aire penetre por la escotilla (3), cuya abertura se puede regular.

Estos ventiladores centrífugos figuras 1.4a y b, crean en el tubo de descarga (4) una presión por encima de la atmosférica, mientras que, en los ventiladores succionadores como el de la figura 1.4c, el aire se toma desde una canal eólica y lo impulsan creando la corriente necesaria.

La velocidad de la corriente de aire se regula abriendo o cerrando la escotilla, o variando la velocidad de giro del ventilador.

La corriente de aire separa los granos de la mezcla de residuos de cosecha e impurezas de todo tipo que se puedan encontrar presentes, lo que se logra del siguiente modo.

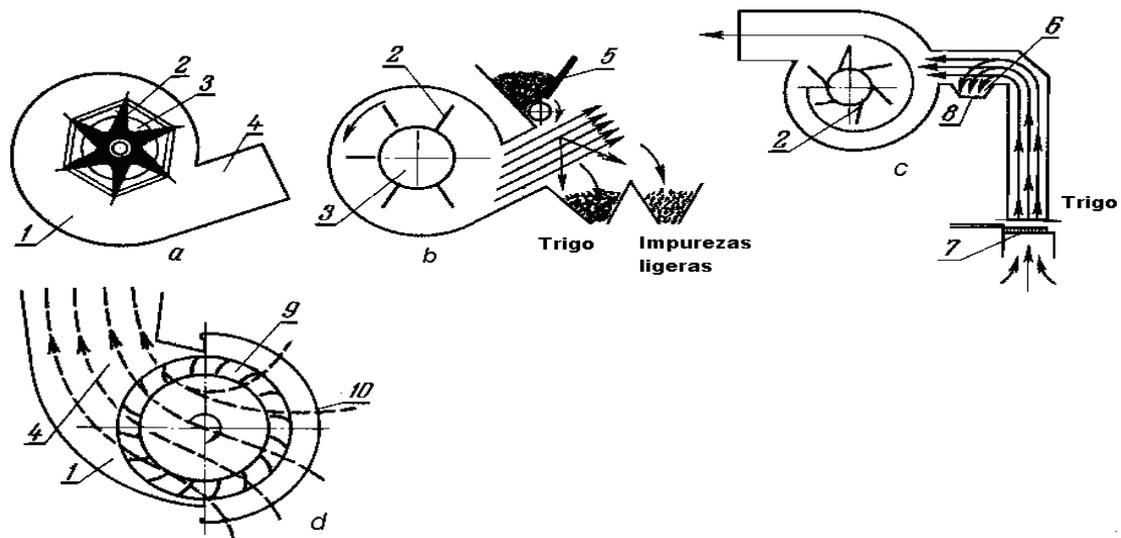


Figura 1.4 Esquema de acción de los ventiladores usados en las máquinas limpiadoras y clasificadoras de granos.

La mezcla de granos y suciedades se introduce de manera uniforme desde el alimentador (5) y cae estando sometida a la acción de la corriente de aire. En este caso, el chorro de aire ejerce poca influencia sobre los granos pesados, mientras que, sí actúa de manera efectiva sobre los granos livianos y otras partículas, haciendo que estas sean arrastradas a mayor distancia.

Para usar la corriente de aire, el grano cae sobre la rejilla (7) ubicada dentro de esta. La velocidad de la corriente se regula de manera tal que, el grano quede en contacto con la rejilla, mientras que, las partículas menos pesadas son arrastradas a la cámara (6). Debido a que el área de esa cámara es mayor que el área de la canal, en ese lugar disminuye la velocidad del aire, se depositan allí las impurezas y pasan a la canal de evacuación (8).

Los ventiladores radiales por su parte, están formados por una rueda con múltiples palas (9) tipo tambor figura 1.4d y el cuerpo (1). La rueda (9), cerrada por sus laterales, posee delante una reja cruzada en el sentido del movimiento de las palas. La ventana de entrada (10) se encuentra ubicada en dirección contraria al tubo de salida (4).

El aire se absorbe desde la ventana (10) a todo lo largo de la rueda y es impulsado hasta el tubo de salida (4).

Los ventiladores radiales funcionan a bajas revoluciones, lo que permite reducir el nivel de vibraciones y ruidos, además de garantizar que se forme una corriente uniforme de aire a todo lo ancho de la canal.

### 1.1.2 Separación del grano por sus dimensiones. [18]. Figura 1.5.

Cualquier grano aunque posea dimensiones incorrectas tiene longitud ( $l$ ), ancho ( $b$ ), y espesor ( $c$ ) determinados, como se muestra en la figura 1.5a.

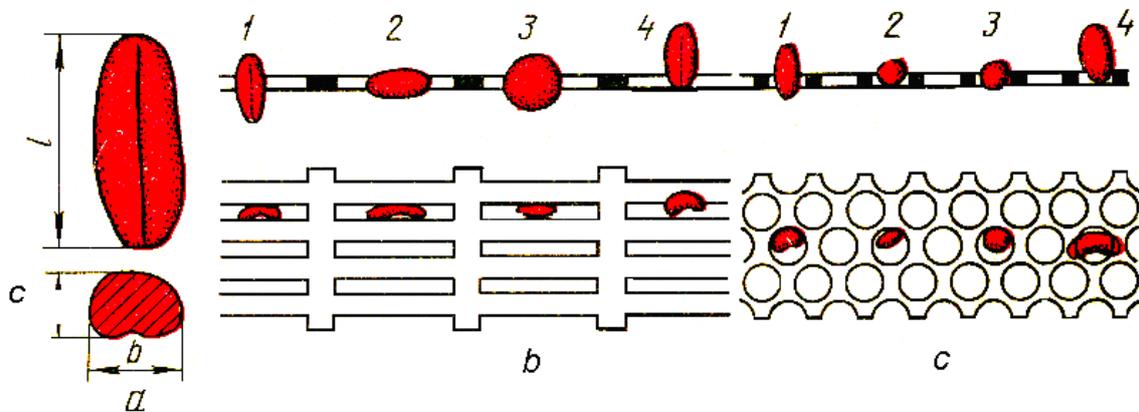


Figura 1.5 Separación del grano por sus dimensiones en las cribas.

De acuerdo a sus dimensiones, los granos de los diferentes cultivos difieren sustancialmente unos de otros y, es precisamente por esta característica que se pueden clasificar y limpiar.

Por su espesor y ancho los granos pueden ser clasificados y limpiados de impurezas y rastrojos en los tamices, los que se construyen en forma de cinta metálica con orificios de iguales dimensiones, estos, generalmente, pueden ser redondos o rectangulares, aunque en algunas construcciones pueden ser triangulares.

A través de los orificios rectangulares figura 1.5b, pueden pasar solo los granos cuyo ancho ( $b$ ) sea menor que el del orificio y en este caso la longitud del grano no tiene importancia, pues será siempre menor que la del orificio. Debido a que el ancho será siempre mayor que el espesor; entonces, el grano que no pase por la sección transversal del orificio por el ancho, mucho menos pasará por el espesor.

Por consiguiente, la clasificación de los granos por su ancho solo es posible en tamices con orificios rectangulares longitudinales.

Por los orificios redondos figura 1.5c, los granos pueden pasar solo si su ancho ( $b$ ) es menor que el diámetro del orificio.

La longitud y espesor del grano no constituyen obstáculos para que puedan pasar por orificios redondos, por ello, la clasificación de los granos por su espesor se puede lograr en tamices con orificios circulares.

Para seleccionar los granos por su longitud, existen las cribas circulares cilíndricas conocidas como tambores trilladores figura 1.6, las que giran en forma de cilindro y se elaboran de acero con cavidades interiores, donde se alojan los granos pequeños y cortos con facilidad, mientras que, los largos lo hacen solo de manera parcial.

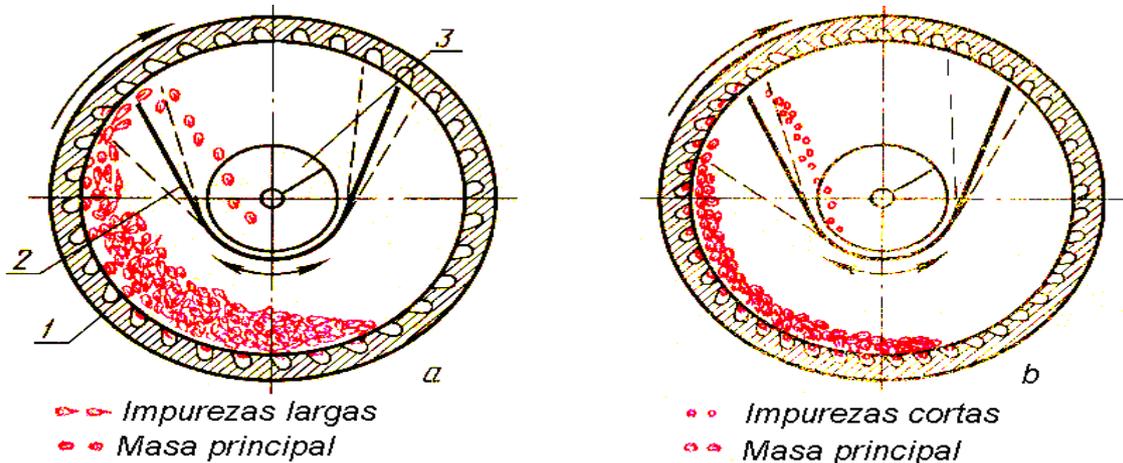


Figura 1.6 Trilladoras cilíndricas.

Al girar el cilindro, desde sus cavidades se desprenden inicialmente los granos largos y luego lo hacen los granos cortos que quedan retenidos en las mismas mientras gira el tambor.

De este modo, el principio de clasificación de los granos por su longitud, consiste en que los más largos se desprenden de las cavidades elaboradas en las cribas antes de que lo hagan los granos cortos.

Por su parte, la criba destinada a separar partículas largas, se caracteriza por poseer cavidades pronunciadas, figura 1.6a, mientras que las destinadas a separar partículas cortas poseen cavidades menos pronunciadas figura 1.6b.

Como resultado de la rotación de la criba cilíndrica, los granos largos giran por su superficie hacia la salida de esta, mientras que los cortos, que se levantan más alto hasta la ranura inmóvil (2), caen desde esta al sinfín (3), quien los evacua al exterior.

En este caso, la velocidad de giro de las cribas cilíndricas debe ser tal que, todos los granos contacten con las cavidades. Si esta es mayor que la velocidad crítica, entonces la fuerza centrífuga retendrá el grano en la cavidad y esto reduce la efectividad del proceso de clasificación.

Por ello, frecuentemente, la velocidad de rotación de la criba cilíndrica es de (35 a 50) rpm.

Estas cribas se instalan en máquinas combinadas complejas y se elaboran en forma de bloques o tándems, y se fabrican con cavidades de diámetro (6.3; 8.5 y 11.2) mm para clasificar cereales y de (1.8; 2.8 y 3.5) mm para clasificar semillas pequeñas.

### **1.1.3 Clasificación de las semillas de acuerdo al estado de sus superficies, formas y otros indicadores. [21]**

Los granos de diferentes cultivos poseen superficies diferentes en cuanto a: rugosidad superficial, dureza, porosidad, capas protectoras exteriores (piel), etc, y poseen además diferentes formas que pueden ser alargadas, esféricas, triangulares, etc.

Por ello, el coeficiente de fricción de estos granos al hacer que se muevan por un plano inclinado también será diferente.

Considerando estas diferencias, para clasificar los granos se han construido dispositivos y equipos con superficies de fricción inclinadas como son: separadores en forma de espiral, cribas de fricción, cribas en formas de rampas, etc.

Frecuentemente, en calidad de superficie de fricción se usa un lienzo corrugado ubicado sobre un plano inclinado que se mueve de manera uniforme hacia arriba.

Si sobre ese lienzo se deposita una mezcla de granos e impurezas, las partículas con menor coeficiente de fricción resbalarán por la tela y caerán hacia abajo, mientras que las más adheridas se levantarán más alto. De esta forma se puede limpiar una considerable variedad de granos.

Se usa además la capacidad que tienen las semillas para retener en menor o mayor grado un polvo ferromagnético muy finamente molido proyectado contra estas, lo que se debe, en gran medida, a su rugosidad superficial.

Para esto, las semillas o granos se embadurnan con un polvo que posee determinado contenido de hierro y, haciéndolas pasar por una máquina limpiadora electromagnética, los granos con determinadas características de acuerdo a su rugosidad serán separados.

Por otra parte, las semillas alargadas y redondeadas se pueden separar unas de otras con ayuda de un dispositivo con superficie en forma de espiral.

En este caso, al deslizarse las semillas por esa superficie, describen trayectorias diferentes en formas de chorros. Los granos alargados, debido a su mayor coeficiente de rozamiento retardan su descenso por la espiral, mientras que, los granos redondeados, por poseer menor coeficiente de fricción, lo hacen más rápidamente y sobrepasan el límite de la espiral.

Los granos se pueden clasificar además en tamices con orificios de diferentes formas, por ejemplo, aquellos que poseen forma de tres caras se pueden clasificar en tamices con orificios del mismo tipo, etc.

Para clasificar los granos de acuerdo al color, se usan foto elementos que permiten dirigir los granos hacia diferentes lugares en dependencia de su coloración, abriendo y cerrando compuertas fotoeléctricas.

### **1.2 Proceso tecnológico de clasificación por cribas. [22].**

El principio de clasificación y separación de los granos mediante cribas, radica en que, a través de estas solo pueden pasar los granos cuyas dimensiones sean menores que las de los orificios practicados en estas. Los granos cuyas dimensiones sean mayores no pasan por los orificios de las mismas.

En las máquinas limpiadoras de granos, se usan las cribas con orificios rectangulares y redondos como se explicó anteriormente, siendo una necesidad que la superficie de estas sea uniforme, de manera que el grano no resbale en las crestas y/o se quede retenido en los valles. Por ello, el régimen de trabajo de las cribas debe ser seleccionado de forma tal que, el grano esté siempre en contacto con estas y sus orificios, por lo que, el grano y sus impurezas debe formar sobre la criba un fino colchón.

El ángulo de inclinación de la criba se selecciona de manera tal que, estando la criba detenida el grano no resbale por su superficie bajo la acción de su propio peso. Esto es imprescindible para asegurar que el grano pase por los orificios y para que los granos y suciedades que no pasen por ellos puedan ser evacuados. Para facilitar este proceso, las cribas se animan de movimiento alternativo longitudinal o transversal, usando diferentes mecanismos.

Las frecuencias de oscilación de las cribas se seleccionan en dependencia de la amplitud de las oscilaciones, del ángulo de inclinación y del coeficiente de fricción de la mezcla a limpiar.

Si la frecuencia de oscilación es insuficiente, la mezcla se mueve junto a la criba y si es muy rápida, una parte de los granos no tendrán la posibilidad de

pasar por los orificios, lo que hace que disminuya la efectividad del proceso de limpieza y clasificación y se reduzca la productividad.

### **1.3 Tipos de máquinas limpiadoras y clasificadoras de granos. [24].**

A nivel mundial y en Cuba, para la limpieza y clasificación de los granos se usan máquinas con cribas neumáticas, combinadas y especiales.

Generalmente, los granos después de haber sido cosechados a mano o con máquinas, se someten a un proceso de limpieza y clasificación con máquinas generalmente estacionarias como la ОБП -20А, de procedencia rusa, que limpia y clasifica los granos de acuerdo a normas preestablecidas.

Para obtener semillas, los granos se procesan en su totalidad con máquinas como la CM – 4 ó la OC – 4.5А de la misma procedencia, las que fueron introducidas en Cuba en la década de los años 80.

Las impurezas difíciles de separar por su parte, se limpian con ayuda de máquinas electromagnéticas como la ЭМС- 1А, o con ayuda de máquinas neumáticas como la ПСС- 2.5, mucho más sofisticadas.

#### **1.3.1 Máquinas con cribas neumáticas. Figura 1.7.**

La máquina desplazable ОБП – 20А figura 1.7а, posee un transportador de carga, una cámara receptora, la sección neumática, las cribas y el transportador de descarga.

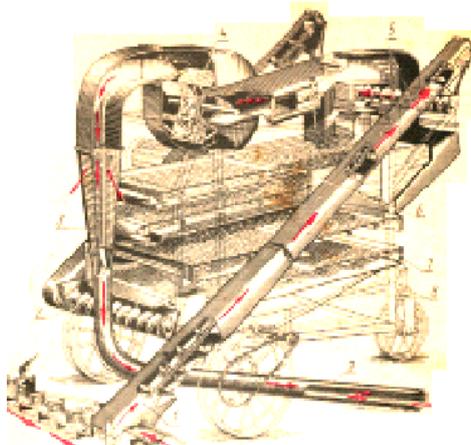


Figura 1.7a Vista general de la máquina limpiadora ОБП – 20А.

El transportador (1) está constituido por una cadena de tablillas y dos uniones de charnela acopladas a ella, las que permiten al transportador adaptarse a la superficie y volumen del material a procesar.

Este transportador entrega el grano a la cámara neumática (10) a través del sinfín (5), quien distribuye uniformemente la masa por la cámara. El cuerpo o

forro del sinfín está equipado con una canal de desagüe, que permite evacuar la masa de grano que se encuentra en exceso.

En la cámara inferior se instalan los ejes de carga (14), destinados a entregar el grano a los canales de aire (3) y debajo de cada uno de ellos se encuentra una válvula de regulación.

Las válvulas neumáticas, sirven para limpiar el grano de impurezas ligeras y los canales se unen al cuerpo del ventilador de acero laminado con la escotilla que se puede cerrar mediante una visera, lo que permite regular la intensidad del flujo de aire en los canales.

La máquina posee cribas (6) superiores y (7) inferiores, que son iguales y trabajan en paralelo, además, la cámara receptora divide el flujo de granos mezclados con impurezas en dos partes iguales, para posteriormente dirigir las a cada una de estas cribas.

En el chasis se montan las cribas Б1, Б2, В и Г figura 1.7b. Estas se mueven con movimiento alternativo y para igualar las fuerzas inerciales el chasis se mueve en sentido contrario al de oscilación de la criba.

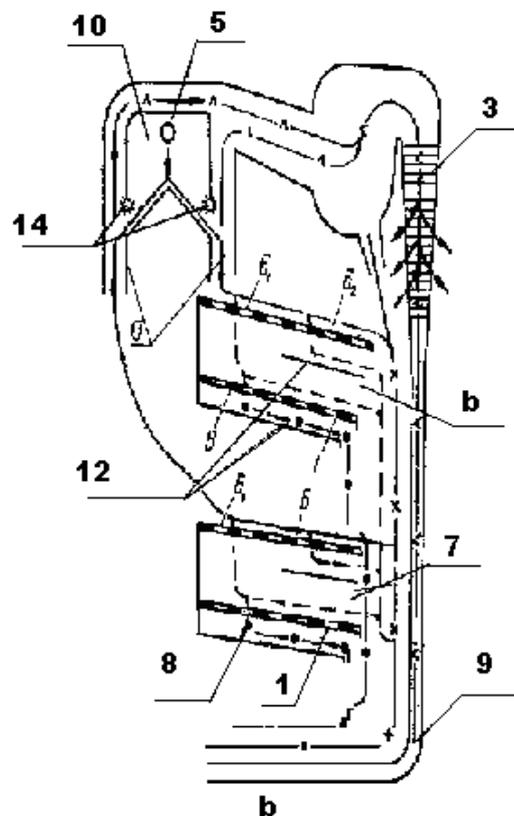


Figura 1.7b Esquema tecnológico de la máquina OBП – 20A.

La misma cuenta con un juego de cribas con orificios rectangulares de (1.5 a 5.0) mm de ancho y con orificios cilíndricos de (3.6 a 10) mm de diámetro. La fracción de granos obtenida como resultado del trabajo de la máquina, se desliza por las láminas (12).

Debajo de todas las cribas se coloca la criba (8), la que al moverse con movimiento alternativo empuja el grano que ha pasado por los orificios de las anteriores.

El chasis de la máquina se monta sobre tres ruedas y el eje delantero de la misma se monta sobre un tenedor que permite orientarlas hacia una dirección determinada.

La máquina se equipa además con un mecanismo de traslación, con ayuda del cual se puede desplazar a una velocidad de (0.1 a 0.3) m/min y retroceder en el mismo sentido a una velocidad de (2.7 – 6.1) m/min.

La máquina se alimenta de tres motores eléctricos con una potencia total de 9.6 Kw.

Al desplazarse la máquina en la dirección del bulto o pila de material a procesar, el transportador de carga (1) levanta el producto y lo entrega a la cámara receptora (10). El sinfín (5) distribuye la mezcla de granos con impurezas y el eje de alimentación (14) entrega de manera uniforme el producto a los canales neumáticos (13). La corriente de aire levanta las partículas menos pesadas y las dirige a la cámara (11) separadora de polvo, donde una parte de las impurezas se sedimentan y la mayoría de las partículas ligeras pasan al transportador neumático (9).

El grano limpio de partículas ligeras pasa de los canales neumáticos (13) a la criba (Б1), desde donde una parte del grano y partículas ligeras pasando por esta caen a la criba (B). Las impurezas grandes y el grano residual pasan a la criba (Б2) y de esta forma la criba (Б1) divide el grano en dos fracciones.

Las cribas (Б y Г) poseen orificios idénticos y como trabajan de conjunto, separan las impurezas ligeras y pesadas, las que por debajo de la pantalla (12) son absorbidas por la garganta neumática (9). Las impurezas grandes salen de la criba (Б2).

La velocidad de trabajo de la máquina se selecciona de manera tal que, estando a plena capacidad las cribas y transcurridos (5 -10) minutos de trabajo, en la cámara de alimentación se observen solo granos.

Para seleccionar los orificios de las cribas, se recomiendan los datos que se presentan en la tabla 1. [23].

Tabla 1. Datos orientativos para seleccionar los orificios de las cribas, en dependencia del tipo de cultivo a procesar.

Cultivo	Ancho o diámetro de los orificios de las cribas; mm			
	Б1	Б2	В	Г
Trigo	□ 2.3 – 3.0	□ 3.0 -3.5	□ 1.7 – 2.3	□ 1.7 – 2.0
Centeno	□ 2.3 – 2.5	□ 3.0 – 3.5	□ 1.5 – 2.0	□ 1.5 – 2.0
Cebada	□ 2.5 – 3.0	□ 3.5 – 4.5	□ 2.0 – 2.5	□ 2.0 – 2.5
Avena	□ 2.0 – 2.5	□ 2.7 – 3.0	□ 1.7 – 2.0	□ 1.7 – 2.0
Maíz	∅ 8	∅ 10	∅ 6.5	∅ 6.5
Mijo	□ 1.7 – 2.0	□ 2.0 – 2.3	□ 1.5 – 1.7	□ 1.5 – 1.7

La criba (Б1) se selecciona de manera tal que, distribuya el grano aproximadamente en dos partes iguales. Los orificios de la criba (Б2) deben dejar pasar todo el grano y las impurezas grandes deben quedar retenidas en ella.

Los orificios de las cribas (В y Г) deben ser menores que el espesor mínimo de los granos. Por ello, para obtener semillas, las cribas (В y Г) se seleccionan con orificios grandes, si estos se comparan con los usados cuando se quiere obtener granos para el consumo.

La correcta selección de las cribas se evalúa de acuerdo a la calidad de la limpieza del grano.

La corriente de aire se regula de forma tal que, sea capaz de sacar el polvo, las partículas de plantas, las espigas o cajetas vanas, etc y se evalúa de manera correcta si los granos no son arrastrados con ella.

### 1.3.2 Máquinas combinadas limpiadoras y clasificadoras de granos.

Gran difusión adquirieron para estos fines las máquinas OC -4.5A figura 1.8, las que poseen una instalación neumática de limpieza, una batería de zarandas y un tambor de trilla.

El transportador de carga es idéntico al de la máquina ОБП – 20А.

El grano que penetra a la cámara receptora (1) es limpiado en la cámara neumática, al final de la cual existen dos canales de aire (3). Además, la

máquina posee una cámara para acumular sedimentos (4), un ventilador, el tambor separador (6) y un separador inercial de polvo (8).

El eje alimentador (2) entrega el grano a las canales de aire previa regulación de la cantidad a entregar por medio de una válvula ubicada debajo de este. Los granos en exceso resbalan y caen en la garganta de alimentación, a la vez que la corriente de aire creada por los ventiladores limpia los granos de polvo y granos vacíos.

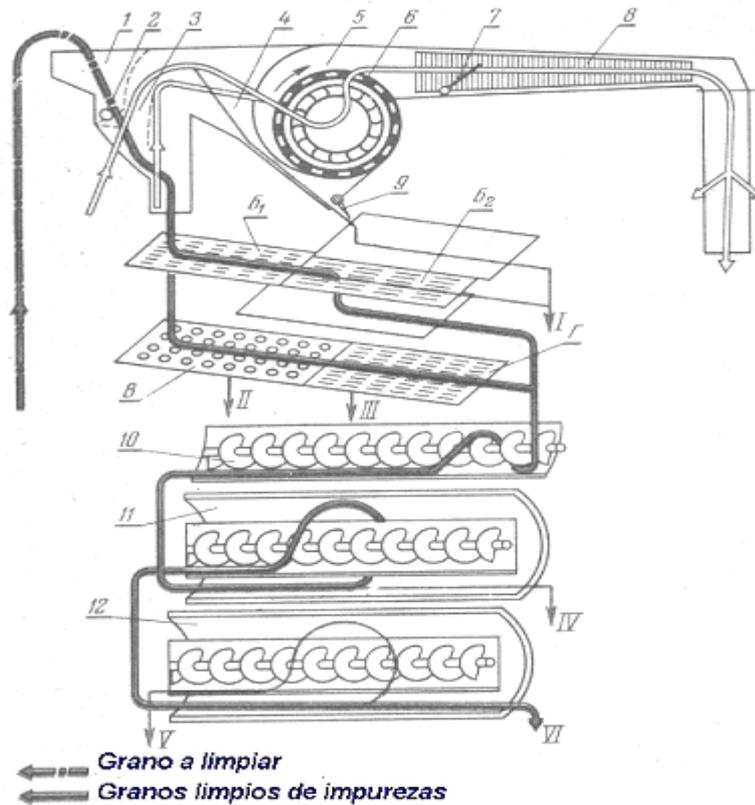


Figura 1.8 Esquema tecnológico de la máquina limpiadora clasificadora OC-4.5A

En la cámara de sedimentación se encuentra la válvula (9), la que, producto del vacío que se crea en la misma se encuentra siempre pegada a esta. Bajo la acción del peso que ejercen las impurezas que se acumulan en esa cámara la válvula se abre, salen los sedimentos y la válvula se vuelve a cerrar.

El tambor reticular (6) limpia el aire que llega del ventilador (5) a través de un limpiador o separador de polvo (8), construido de manera tal que no ejerza mucha resistencia a la corriente de aire y en el separador de polvo se instala la válvula (7) que permite regular la velocidad de la corriente de aire en las

canales (3) al hacerla girar con la manivela correspondiente. Las partículas pequeñas se recogen en el filtro.

La máquina posee una batería de cribas o tamices (Б1; Б2; Б y Г) con orificios rectangulares, cuyas dimensiones van desde (0.9 hasta 5) mm y con orificios cilíndricos con diámetros de (1.3 a 9) mm, las que aseguran limpiar y clasificar los granos de cualquier tipo y variedad.

Para limpiar las cribas, la máquina posee cepillos que se mueven de manera alternativa y, además, posee un diafragma en forma de anillo que se ubica en dependencia de tipo de grano a limpiar y clasificar.

Los órganos de trabajo de esta máquina se ponen en movimiento a través de un motor eléctrico de 5.5 Kw.

La máquina funciona del siguiente modo:

El transportador de carga entrega la masa de granos e impurezas a la cámara receptora (1) y la que resulte excesiva se evacua por una canal de salida. El eje alimentador (2) de la cámara receptora entrega el grano a las canales neumáticas, donde la corriente de aire separa en la cámara (4) y en el separador de polvo (8) las partículas ligeras y los granos vanos.

Estos se depositan en la cámara correspondiente y bajo la acción de su propio peso abren las válvulas de derivación y salen al exterior de la máquina.

Desde las canales (3), los granos caen en la criba (Б1), donde se dividen en dos fracciones. De la criba (Б1) pasan a la (Б2), donde son separadas las impurezas grandes que, posteriormente, se unen a las ligeras y salen al exterior. Los granos que ya han pasado por esta criba pueden ser sacados de la máquina, sin embargo, cuando el trabajo se realiza para obtener semillas, se envían entonces al tambor de trilla.

Después de pasar por la criba (Б1), los granos con impurezas pasan a la criba (B) la que separa las pequeñas suciedades y tiene lugar la (salida I).

De la criba (B) se pasan a la (Г), la que separa los granos más pequeños (salida III) y de aquí, si es necesario, los granos pasan a al tambor trillador.

Inicialmente, la masa de granos e impurezas llega a la trilladora (11) desde donde las partículas grandes salen del cilindro (salida IV).

Los orificios del tambor trillador principal desprenden los granos y las partes más pequeñas de las espigas y cajetas, los que caen al fondo del transportador sinfín transversal y luego al trillador (12).

Para asegurar una elevada calidad de la limpieza y clasificación de los granos, es necesario seleccionar de manera adecuada las cribas.

De manera general, estas se pueden seleccionar de acuerdo a los datos que aparecen tabulados y que son emitidos por las empresas productoras, en las que se señalan de manera orientativa las dimensiones de los orificios de cada una de ellas. Sin embargo, en la práctica es necesario seleccionar las cribas, solo basados en experiencias reales con el trabajo de la máquina.

La criba (Б1) se selecciona de manera tal que, sea capaz de dividir la masa a procesar en aproximadamente dos partes iguales. La criba (Б2), dejando pasar todos los granos, debe ser capaz de retener las grandes impurezas, mientras que, las cribas (B) y (Г) deben ser capaces de separar todos los granos vanos y las pequeñas suciedades.

Después de seleccionadas las cribas, se hace una comprobación de la calidad del trabajo que estas realizan y se da una evaluación satisfactoria solo a partir de la calidad final del producto.

El tambor de trilla de la máquina con orificios de (8.5 y 5) mm, es adecuado para trillar centeno, cebada, avena, trigo, etc.

La velocidad de la corriente de aire se selecciona de manera tal que, en las canales de aire se separen las mayores cantidades de impurezas, específicamente los granos vanos y las partículas ligeras.

Si en el producto final existen granos vanos y pequeñas partículas de cosecha, esto indica que se hace necesario aumentar la velocidad de la corriente de aire.

### 1.3.3 Máquina limpiadora CM – 4. Figura 1.9

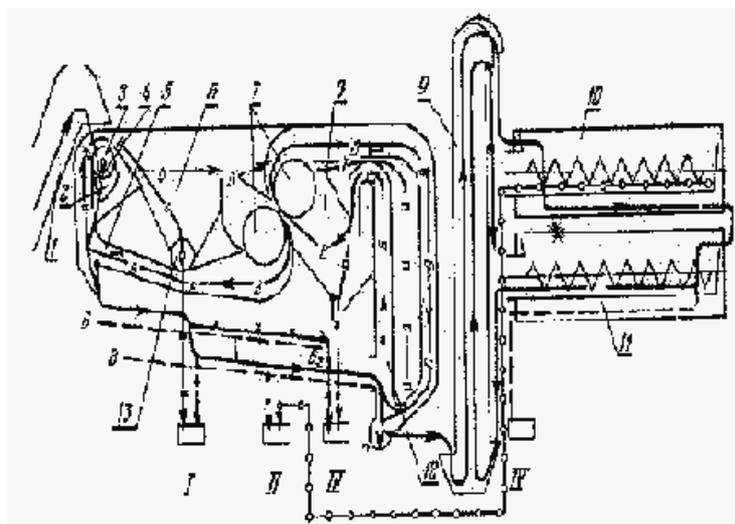


Figura 1.9 Esquema tecnológico de la máquina limpiadora de granos CM-4.

Esta máquina se destina a la limpieza y clasificación de cereales, incluyendo a otros tipos de granos.

En comparación con la máquina OC – 4.5 A, la máquina CM – 4 es mucho más moderna de acuerdo a su esquema tecnológico, soluciones constructivas, nivel de automatización, adaptabilidad a las operaciones de asistencia técnica, estética, etc.

Los órganos principales de trabajo de esta máquina son: Transportador de descarga, instalación de limpieza, batería de cribas, cilindros de trilla, elevador de dos flujos de descarga y se equipa con un dispositivo destinado a la regulación automática del sinfín distribuidor figura 1.10

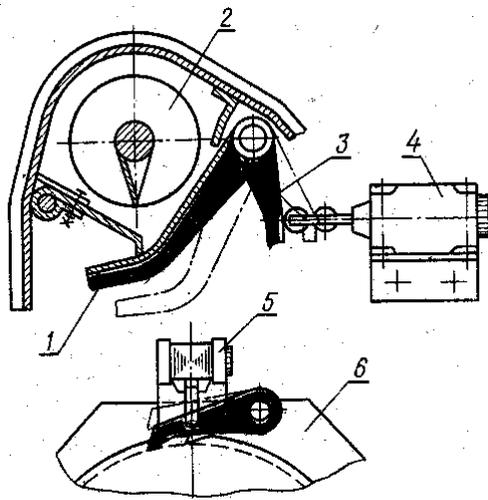


Figura 1.10 Esquema del regulador automático de carga de la máquina CM-4. La instalación alimentadora está dotada de una válvula de resorte (1), cuya tensión se puede regular mediante fijadores. Sobre el eje de la válvula se coloca el apoyo (3) que actúa sobre el rodillo de desconexión (4). Este último, mediante un circuito eléctrico, actúa sobre el mecanismo de auto arranque (6). Debajo del perro de la rueda se encuentra el electromagnético (5) que se une mediante charnela a este. Al llenarse el sinfín distribuidor, el exceso de granos acciona la válvula (1) que actúa sobre el desconector y se detiene el trabajo. La instalación de limpieza está compuesta por dos sistemas cerrados de aspiración. A través de una escotilla en la pared común, actúa una parte del aire de succión.

El sistema de succión está equipado de cámaras de sedimentación (6) y (8) figura 1.9, en las que se depositan las partículas ligeras. De la cámara (6) se evacuan, a través del sinfín (13) y de la cámara (8) mediante su propio peso.

En la batería de cribas existen las superiores (Б1 y Б2) y las inferiores (B y Г), las que tal y como ocurre en las máquinas OC - 4.5 A, ejecutan un movimiento alternativo balanceado por el uso de contrapesos.

Al moverse la máquina por encima del bulto o pila de material a procesar, el transportador de carga (1) hace pasar el material a la cámara receptora (2), desde donde el sinfín (3) distribuye de manera uniforme el material por todo el ancho de trabajo de la máquina y lo envía a la cámara neumática de limpieza primaria (5).

De aquí, la mezcla de granos con impurezas y residuos de cosecha cae a la criba (Б1), la que lo distribuye en dos porciones iguales, los granos sanos pasan a la criba (Б2) llamada (salida III), mientras que las partículas ligeras pasan a la criba (Г).

Después de pasar por la criba (Б1), el material pasa a la criba (B), donde se separan las partículas ligeras y a esto se le llama (salida I).

Después de pasar por (B), el material es dirigido a la (Г), donde se mezcla con el material proveniente de de la criba (Б2), quedando de (Г) los granos vanos. (salida II).

La salida del material de la criba (Г) se acelera con ayuda de la corriente de aire y por la canal (12) el material pasa a la cámara de sedimentación (8), donde quedan los granos vanos y las partículas ligeras.

Los granos limpios pasan por medio de un sinfín al transportador de descarga y al tambor de trilla (10), donde quedará limpio de las pequeñas impurezas.

Los tambores de trilla poseen un diámetro de 600 mm, una longitud de 1 960 mm y una velocidad de rotación de 45 r.p.m, siendo el diámetro de los orificios de la criba de estos de 5 mm.

La productividad de la limpieza es de 4 t/h.

Existen además las máquinas limpiadoras:

- Petcus - Gigant de fabricación alemana, con una productividad de 2.5 t/h.
- Petcus – Súper con una productividad de 1.25 t/h.
- Pecus – Electra, con una productividad de 150 – 300 kg/h.

#### **1.3.4 Máquinas especiales de limpieza. Figura 1.11**

Entre estas se encuentra la máquina electromagnética de limpieza EMC – 1A.

La misma se destina a la limpieza de las semillas de algodón, pastos y otras diminutas semillas que se caracterizan por poseer superficies blandas y determinadas características de acabado superficial.

En este caso, en el depósito receptor (1) de la máquina, existe una red o malla donde quedan retenidas las impurezas de mayores dimensiones. La apertura o cierre de la escotilla de regulación de esta, se regula mediante un disco que posee de (18 a 24) orificios.

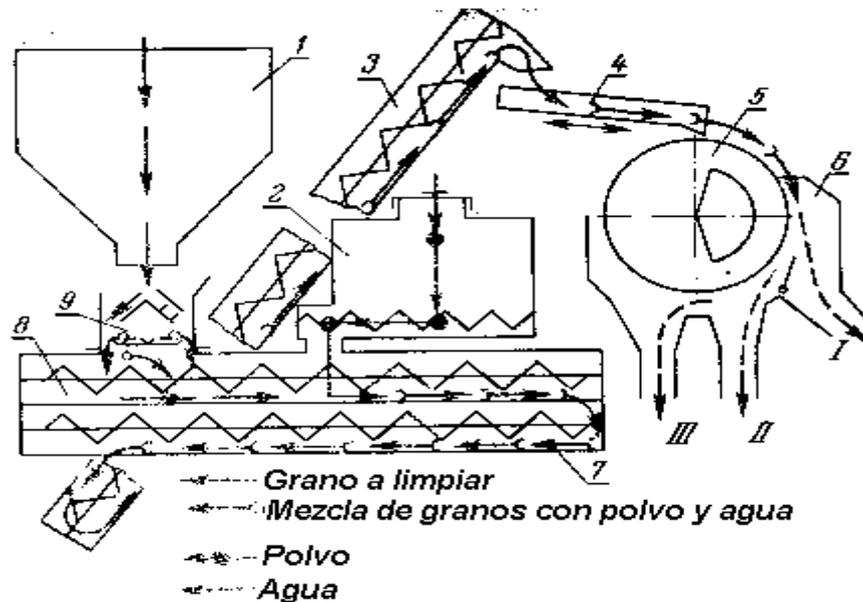


Figura 1.11 Esquema tecnológico de la máquina electromagnética de limpieza EMC – 1A.

Las semillas a tratar con ayuda de esta máquina, se caracterizan por presentar poca capacidad de absorción, como para ser recubiertas con un polvo ferromagnético y por esta razón, frecuentemente se humedecen de manera previa, para lo cual existe el humectador (9), que dispone de un depósito de agua que gira rápidamente, lo que permite mojar las semillas con agua pulverizada. Posteriormente, las semillas se recubren con un polvo ferromagnético en los transportadores sinfín (7 y 8), los que se encuentran dotados de paletas.

En el depósito (2) destinado a conservar el polvo, se encuentra un agitador o removedor y debajo de este se encuentra el sinfín que eleva el polvo al mezclador primario (8).

El transportador (3) mezcla de manera complementaria las semillas con el polvo ferromagnético y entrega la semilla al transportador (4) que posee una

salida doble. Las palas de este transportador se elaboran de latón para evitar que se magneticen y a la vez, poseen un movimiento alternativo.

Para separar las semillas en fracciones, se usa el tambor electromagnético (5) y para ello, sobre un eje rígido se instalan dos bobinas de excitación y tres sectores de acero electromagnético separados por juntas de goma.

La corriente eléctrica que pasa por las bobinas crea un campo magnético y por este se hace pasar la semilla clasificándose en semillas de primera y segunda clases.

El ventilador centrífugo absorbe el polvo ferromagnético y lo transporta a un ciclón que generalmente se instala fuera del área. El aire limpio se expulsa a la atmósfera y el polvo se deposita en la tolva correspondiente. Para alimentar de corriente al tambor electromagnético se usa un solenoide y la potencia de la instalación es de 3.1 Kw.

Durante el proceso de trabajo, desde el depósito receptor (1) la semilla es absorbida a través de los orificios que posee el disco regulador, se humedecen y pasan al sinfín mezclador. Si el humectador está desconectado, entonces el polvo ferromagnético pasa al mezclador sinfín superior (8) y si han sido debidamente humectadas con anterioridad, entonces pasan al sinfín inferior (7). El transportador sinfín (3) entrega la semilla procesada al transportador (4), quien se encarga de dividir el flujo de material en dos partes iguales y lo conduce al tambor giratorio electromagnético (5), donde es dividido en tres fracciones iguales.

Las semillas recubiertas con el polvo friccionan contra el tambor, caen y se recogen (calidad III). Las semillas con superficies lisas salen del tambor y llegan al receptáculo (6) para conformar la producción de (primera clase), mientras que, las que no fueron recubiertas con el polvo abandonan el tambor un poco más tarde y constituyen semillas de (segunda clase).

En dependencia de la humedad del grano y de la calidad del polvo ferromagnético, su gasto es de 2,5% de la productividad de la máquina.

#### **1.3.5 Mesa neumática de clasificación. ПСС – 2.5.**

Se destina a la limpieza de granos que se acompañan de suciedades de diferente naturaleza y se emplea cuando no es posible usar otras máquinas. Esta clasifica las semillas o granos de acuerdo a su densidad, forma, dimensiones y características superficiales.

No obstante, es conveniente procesar de manera previa el material a trabajar en otras máquinas destinadas a estos fines.

Los órganos de trabajo fundamentales de esta máquina son: Figura 1.12. Mesa (1) y ventilador (5).

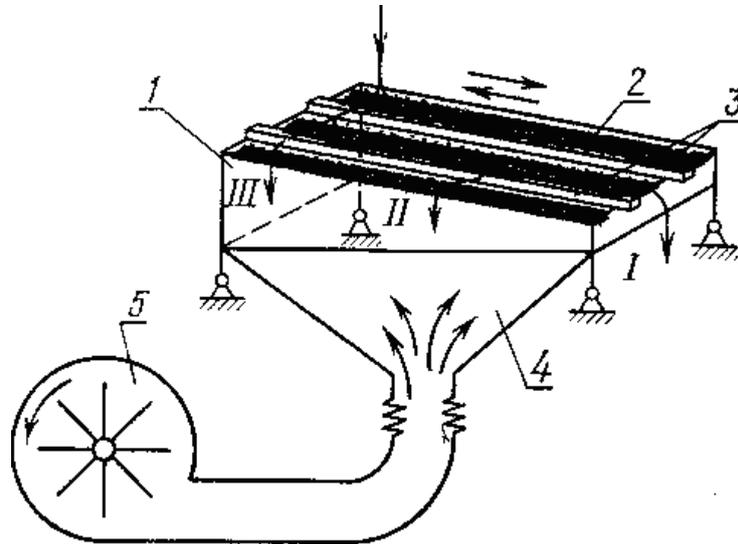


Figura 1.12 Esquema tecnológico de la mesa neumática de clasificación. ПСС – 2.5.

La mesa es bañada constantemente desde abajo por una corriente de aire y sobre esta se soporta una red metálica con orificios de 0.5 a 0.6 mm.

Debajo de esta malla se colocan dos cribas niveladoras de la intensidad de la corriente de aire y debajo de estas, y unidas al chasis se colocan los soportes. El ángulo de inclinación de la mesa se puede variar hasta  $8^{\circ}$  y la magnitud de sus oscilaciones entre 360 y 600 oscilaciones por minuto.

Los granos que caen desde el depósito hasta la superficie de la mesa se distribuyen de manera uniforme sobre esta, gracias a las oscilaciones y al estar bañada la misma por una fuerte corriente de aire, las impurezas pequeñas se separan de los granos y dentro de estos, los más pesados se mantienen en contacto con la criba, mientras que, los menos pesados suben a su superficie.

Posteriormente, los granos más pesados abandona la criba y constituyen la fracción I, los más ligeros la fracción II y las impurezas la fracción III.

La potencia del motor es de 6.6 kw y la productividad de 2.5 t/h.

### 1.3.6 Agregados mecánicos y máquinas complejas para la postcosecha de granos y obtención de semillas.

Para obtener granos destinados al consumo y semillas para siembras posteriores con el menor consumo de trabajo posible, el material proveniente de los depósitos de las cosechadoras se procesa en los agregados ZAB – 20, AZC – 30M, ZAB – 40 y ZAP – 5 o similares. [13].

Los granos muy húmedos se procesan en máquinas secadoras limpiadoras como las KZC – 40, KZC – 20 Ш, KZC – 20 Б, KZC – 10 Ш y KZP – 5, en las que las que el principio de trabajo de las cribas, tambores de trilla, etc, no se diferencia del de las máquinas analizadas anteriormente.

El agregado limpiador ZAB – 20, figura 1.13, se usa para limpiar granos destinados al consumo humano y a la obtención de semillas, y representa en sí un conjunto de agregados montados en un sistema único.

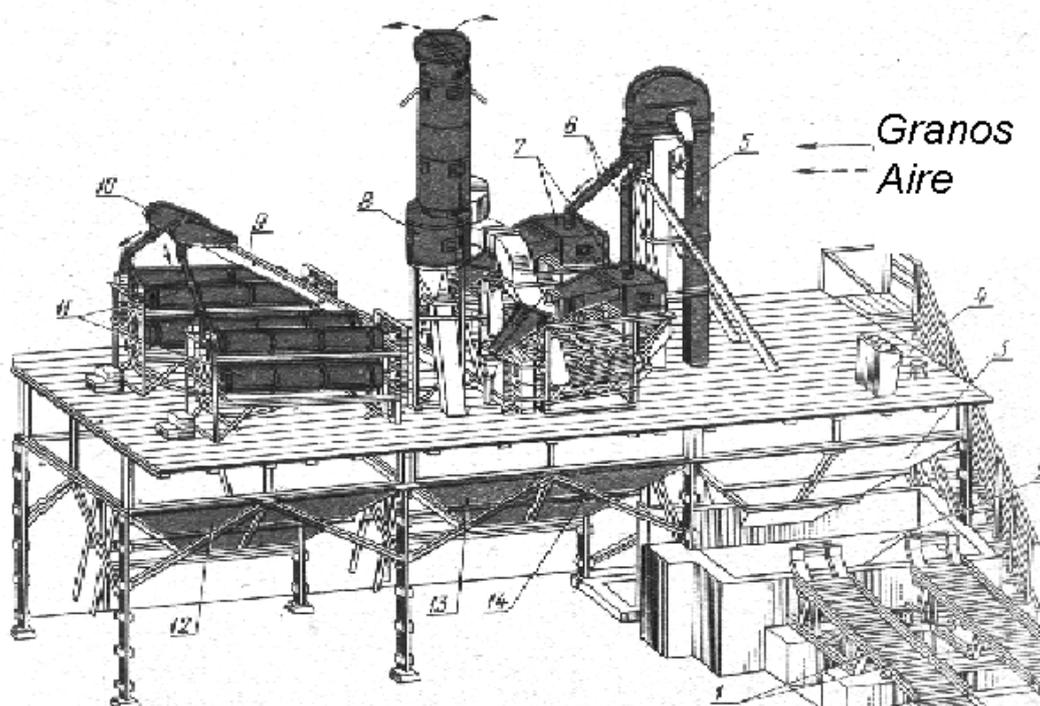


Figura 1.13 Vista general del agregado complejo para la postcosecha de granos y obtención de semillas. ZAB – 20.

Desde el punto de vista constructivo, el mismo posee el depósito receptor (2) y la rampa para descargar los medios de transporte (1).

Para limpiar los granos se emplea una corriente de aire, que es la encargada de separar de los mismos el polvo y los residuos de cosecha.

La parte delantera del basculador se levanta con ayuda de cilindros hidráulicos, lo que hace que el medio de transporte se incline volteando la carga en el depósito receptor (2) y desde este, pasa al cabezal inferior (5).

En la parte superior de esta, se encuentra una válvula que se encarga de separar el caudal de granos en dos flujos, los que por los canales conductores (10) pasan a la cámara neumática (7).

Cada una de las baterías de cribas con que consta esta máquina, es similar a las de la máquina ОБП – 20 А.

El elevador (9) eleva el grano a la instalación distribuidora (10), desde donde, a través de los conductos correspondientes, pasa a los tambores de trilla (11). Los rastrojos largos pasan al depósito (12) y los más cortos y livianos al (14).

El transportador neumático (8) arrastra a los residuos hasta el depósito (13).

Esta máquina se puede usar en dos líneas paralelas o en una sola línea, pudiendo existir dos variantes de trabajo:

1. limpieza neumática en cribas, limpieza en tambores de trilla y limpieza en bloques.
2. limpieza neumática en cribas, limpieza en bloques.

En la primera variante, los tambores de trilla se conectan en paralelo para el trabajo y de esta forma el material es despojado de residuos de cosecha y partículas largas y cortas.

Para ello, inicialmente se conecta el sistema neumático centralizado (7) mostrado en la figura 1.14 y luego el bloque de tambores trilladores (11), los transportadores (12), la máquina trilladora neumática (6) y la noria de carga (3). Cada una de estas partes se pone en funcionamiento una vez que se ha alcanzado el trabajo estable de la anterior.

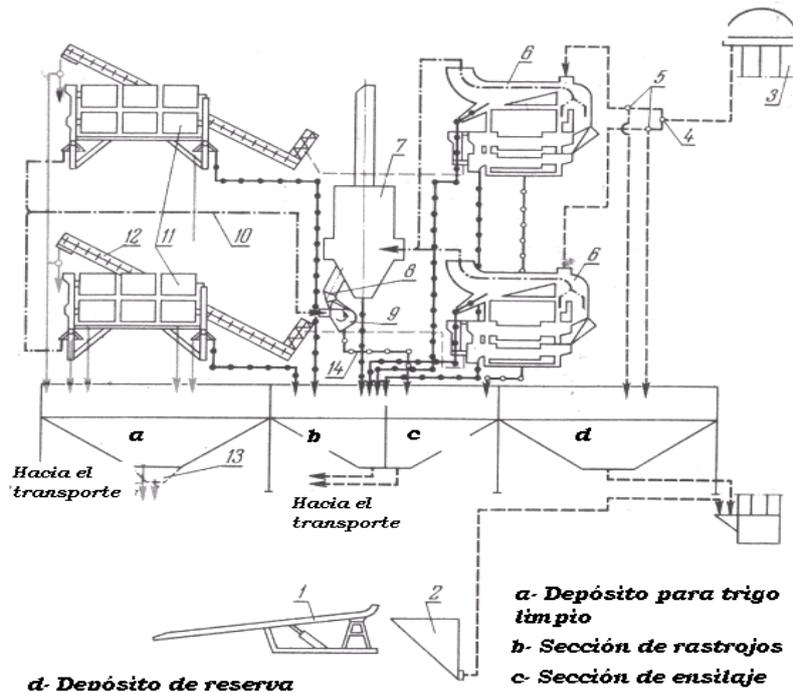


Figura 1.14 Esquema tecnológico de trabajo del agregado complejo ZAB- 20.

Posteriormente se abre lentamente la compuerta (3) y las compuertas de los distribuidores (4 y 5).

El grano, desde el cabezal inferior (3) se eleva hasta el cabezal superior, desde donde pasa a las cámaras receptoras de la máquina neumática (6) y al depósito de reserva.

En las cámaras (6), la corriente de aire separa las impurezas ligeras, las que junto a los residuos separados en los tambores de trilla pasan al depósito de los subproductos.

Los rastrojos pesados se depositan en las secciones (6) y (9) donde son separados por fuerzas inerciales y trasladadas hasta la sección de forraje.

El grano limpio pasa al depósito correspondiente mediante el transportador (12) o inicialmente a los tambores de trilla (11) y desde estos al depósito de producción limpia.

Si la alimentación de la materia prima no es rítmica, entonces se usa el material almacenado en los depósitos de reserva y, si en la materia a procesar no existen rastrojos largos, se permite detener el trabajo de los tambores trilladores.

Esta máquina puede ser equipada además con un juego de tambores de trilla, cuyos orificios de trabajo sean de diámetro 6.3; 8.5 y 11 mm para limpiar alforfón o trigo sarraceno. La potencia del motor eléctrico en este caso es de

31.1 kw y la productividad es de 20 t/h si el trabajo se realiza para obtener granos destinados al consumo humano y, de 10 t/h si la producción es para obtener semillas.

El agregado **ZAB -10** por su destinación y particularidades constructivas no difiere mucho del ZAB – 20, pero se puede trabajar con él solo en una línea y la potencia de su motor es de 18 Kw.

El agregado **ZAB – 40** posee dos máquinas neumáticas ZBC -20, dos separadores centrífugos, tambores de trilla más productivos y dos sistemas de aspiración. Además, se puede cargar esta máquina por ambos lados del basculador.

El agregado **AZC – 30 M** posee un limpiador de elevada productividad, tambores de trilla БТ – 20, dos sistemas de aspiración y cuatro norias. Posee un motor de 31.4 Kw.

### 1.3.7 Complejo limpiador secador de granos.

Se destina a la limpieza y secado de granos para el consumo humano y la obtención de semillas, por lo que su instalación posee agregados para el secado y la limpieza.

El complejo **KZC – 20 Б** figura 1.15, y el KZC – 20 Ш, se basan en el agregado ZAB – 20, pero están equipados además con secadores.

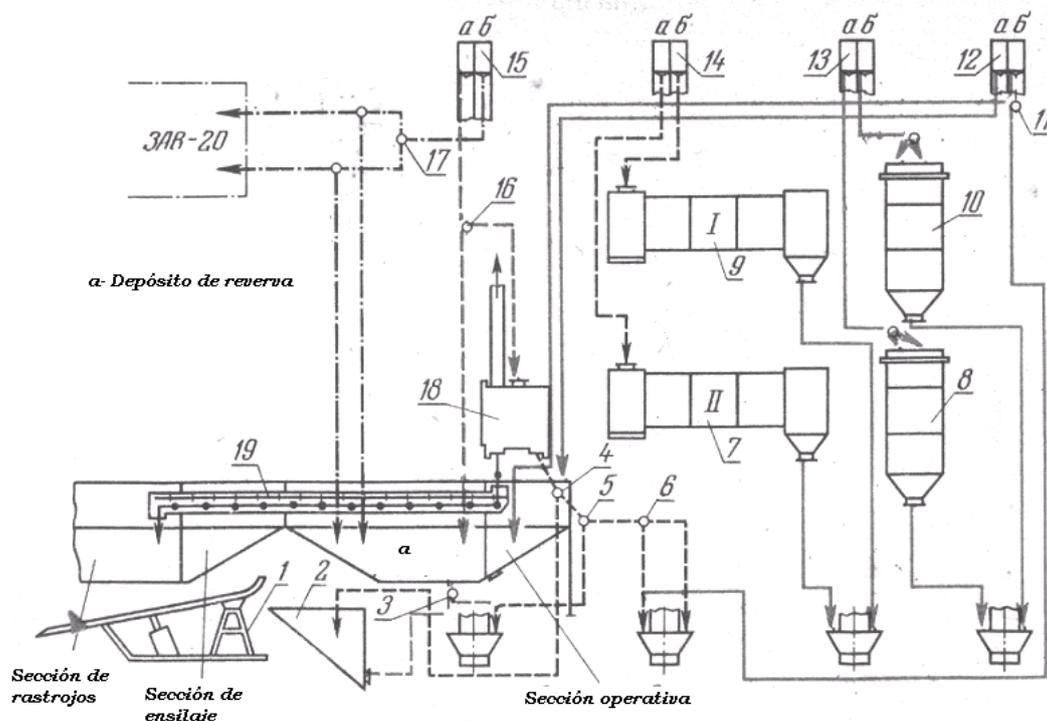


Figura 1.15 Esquema tecnológico de trabajo del agregado KZC – 20 Б.

El complejo puede ser equipado con tambores de trilla que posean orificios de 6.3; 8.5 y 11.2 mm, así como con cribas con orificios triangulares.

Además, el mismo puede usar de manera paralela una secadora para quitar la humedad del grano si esta sobrepasa el 28%.

El complejo secador **KZC – 40** se equipa con una secadora CZШ – 16 y la potencia total de sus motores instalados es de 160.1 Kw, su productividad es de 40 t/h en operaciones de limpieza, 20 t/h en el secado del grano de consumo y 10 t/h en el secado de granos para semillas.

El complejo **KZP – 5** se destina al secado, limpia y clasificación de granos como el trigo, chícharo, arroz, etc y la potencia de sus motores es de 250 Kw.

## CAPÍTULO II BASES CIENTÍFICO TEÓRICA

### 2. Fundamentos de la teoría y el cálculo de la limpieza y clasificación de los granos. [30].

Las propiedades tecnológicas de los granos se definen por: sus dimensiones, porosidad, características superficiales, densidad, masa, elasticidad y color, pudiendo variar cada una de ellas en determinada magnitud, por lo que es necesario, considerarlas a la hora de diseñar cualquier sistema de limpieza y clasificación que se quiera construir. [28].

Sin embargo, el indicador que realmente demuestra la variación entre las propiedades tecnológicas de un tipo de grano u otro es la dimensión, la que puede ser representada en forma de filas de variación o en forma de curvas de variación.

Para construir una u otra, es necesario hacer de 300 a 500 mediciones del parámetro seleccionado (espesor, ancho o largo) y distribuir las mediciones obtenidas de acuerdo a su clase.

El intervalo de clase ( $\lambda$ ) para los granos se toman como 0.2; 0.3 y 0.4 mm, en correspondencia con datos tabulados referidos a espesor, ancho y longitud.

Definiendo las dimensiones máximas ( $l_{max}$ ) y mínimas ( $l_{min}$ ), y dividiendo la diferencia ( $l_{max} - l_{min}$ ) entre el intervalo de clase ( $\lambda$ ), se determina la cantidad total de clases. Frecuentemente oscila entre (5 y 10).

Dividir las semillas en clases de acuerdo a su espesor y ancho se puede lograr no solo a través de mediciones, sino a través del paso de 50 a 100g de semillas por un tamiz clasificador, en el que se monte una criba cuyos orificios se correspondan con la clase dada.

Cada clase tabla 2.1, se caracteriza por sus dimensiones límites (límite de clase y valor medio)

Tabla 2.1 Fila de variación.

Clase	1	2	3	4	.....	n	total
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Frontera de la clase	$l_{min} - l_1$	$l_1 - l_2$	$l_2 - l_3$	$l_3 - l_4$	.....		-

Continuación tabla 2.1.

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Valor medio de la clase	$l_{cp1}$	$l_{cp2}$	$l_{cp3}$	$l_{cp4}$	.....	$l_{cpn}$	-
Frecuencia (k)	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	.....	$K_n$	$\Sigma K_i$
$P_i$ %	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	.....	$P_n$	100

Frecuencia: es la cantidad de semilla en cada clase de acuerdo a su masa, número o porcentaje.

Moda: es la clase con frecuencia más alta.

Mediana: es la clase cuyo valor representa el valor medio de la magnitud medida y divide a toda la fila de variación a la mitad. Si las características de las mediciones se ajustan a la ley de distribución normal, la moda y la mediana coinciden.

Los indicadores biológicos frecuentemente ajustan a la ley de distribución normal.

Curvas de variación. Es la representación grafica de cualquier dimensión, en cuyo eje de abscisas se coloca el valor medio de la clase  $l_{cp}$ , y en el de las ordenadas la frecuencia (K) o (P) en porcentaje.

Las filas de variación y las curvas, caracterizan la magnitud media aritmética (M) y la desviación media cuadrática ( $\delta$ ).

La magnitud de la media aritmética se determina como:

$$M = \frac{K_1 l_{cp1} + K_2 l_{cp2} + K_n l_{cpn}}{\Sigma K_i} = \frac{\Sigma K_i l_{cpi}}{\Sigma K_i} = \frac{\Sigma P_i l_{cpi}}{100}$$

(1)

La desviación media cuadrática se determina como:

$$\delta = \pm \sqrt{\frac{\Sigma (M - i_{cpi})^2 K_i}{\Sigma K_i}}$$

(2)

En aquellos casos cuando, característica de la variación de las dimensiones de los granos ajustan a la ley de distribución normal, la ecuación de la curva es:

$$Y = \frac{1}{\delta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(M-l)^2}{2\delta^2}}$$

(3)

En los límites ( $M \pm 3\delta$ ) se incluye el 99.7% de todo el material y por ello, se permite considerar que las dimensiones de los granos varían desde un número mínimo ( $M-3\delta$ ) hasta un número máximo ( $M+3\delta$ ).

De acuerdo a la distribución de las curvas de variación Figura 2.1 con los componentes, por ejemplo, granos y rastros, se puede evaluar la posibilidad de limpiar el grano por un indicador dado.

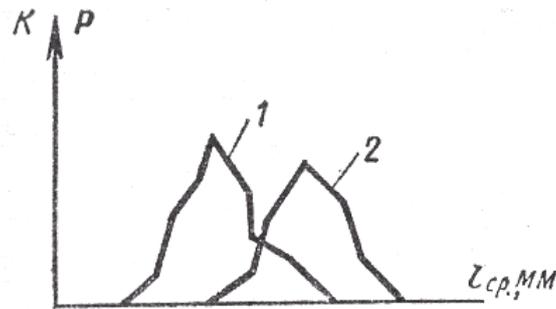


Figura 2.1 Curvas de variación.

1 – Primer componente. 2- Segundo componente.

Si las curvas (1) y (2) no se superponen la una en la otra, se puede concluir que la mezcla se ha limpiado totalmente. En este caso, si se superponen, esto indica que se puede limpiar la mezcla, pero esta superposición debe ser del final de una con el inicio de la otra, pues si la superposición es completa, no se puede limpiar el material.

Si es necesario clasificar o limpiar la mezcla por un solo indicador, entonces se usa la combinación de dos o tres indicadores y para ello se elabora una tabla de correlación y se construyen las curvas de variación que indican la dependencia existente entre indicadores.

A modo de ejemplo se muestran las filas de variación y las curvas de distribución de la longitud y espesor de los granos de cebada y avena. Figura 2.2. Como se observa, las curvas de variación de la longitud, en cierta medida, se superponen y las de espesor lo hacen en menor medida.

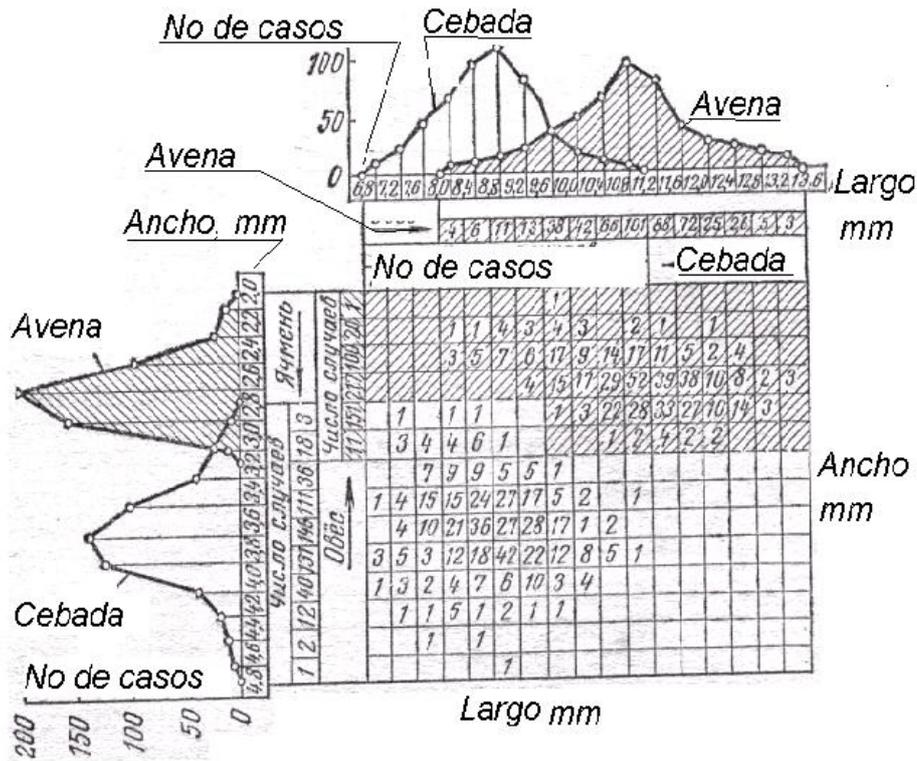


Figura 2.2 Curvas de variación y tablas de correlación.

Tabla de correlación. Distribuyendo cada clase de longitud por cada clase de espesor y cada clase de espesor por cada clase de longitud, obtenemos las filas de cifras verticales y horizontales que se representan en la tabla de correlación.

Como se deduce de la misma, los granos de cebada y avena de una misma clase de longitud pertenecen a diferentes clases de espesor, lo que ocurre de manera similar con los granos de otras variedades.

Si se sombrea los cuadrillos de la tabla correspondientes a la avena, se puede observar que en ningún caso estos coinciden con los cuadrillos de la cebada.

La tabla de correlación permite visualmente apreciar que, usando una criba con orificios de diámetro 9.6 mm y una zaranda con orificios cilíndricos de 2.8 y 3.2 mm, se puede obtener una limpieza total de la mezcla de acuerdo a los dos indicadores anteriormente analizados.

De igual forma se puede conformar una tabla de combinación de correlaciones que incluya otros indicadores, a través de los cuales se puedan limpiar las mezclas.

## 2.1 Propiedades aerodinámicas de los granos.

Las propiedades aerodinámicas de los granos se definen por su velocidad crítica ( $V_{kp}$ ), por el coeficiente de resistencia al aire ( $K$ ), y por el coeficiente gravitacional ( $K_n$ ).

**2.1.1 Velocidad crítica:** Si se coloca una muestra de semilla o rastrojos de cosecha en una columna vertical uniforme afectada por un chorro de aire que se mueve hacia arriba con una velocidad ( $V$ ), como reacción esta será afectada desde el sentido contrario por una fuerza ( $R$ ) que puede ser calculada como:

$$R = K\gamma F(u - c)^2$$

(4)

donde:

$\gamma$  - Densidad del aire; [ $\text{kg} / \text{m}^3$ ]

$U$  - velocidad de la corriente de aire; [ $\text{m} / \text{s}$ ]

$C$  - velocidad de movimiento de la semilla; [ $\text{m} / \text{s}$ ]

$F$  - área de la sección transversal del cuerpo en sentido perpendicular a la dirección del flujo de aire; [ $\text{m}^2$ ]

Bajo la acción de la fuerza ( $R$ ) y de la fuerza de gravedad ( $G=mg$ ), la partícula se moverá hacia abajo, si ( $G > R$ ) o, hacia arriba si ( $G < R$ ). Para el caso particular en que ( $G = R$ ), la partícula o grano quedará suspendida flotando dentro de la corriente de aire y este es el indicador que se usa para determinar la velocidad crítica como:

$$U_{kp} = \sqrt{\frac{G}{K\gamma F}}$$

(5)

**2.1.2 Coeficiente de resistencia al aire ( $K$ )-** Es difícil de determinar, ya que depende de una gran cantidad de factores cambiantes como son: la forma, la superficie, el estado de la atmósfera gaseosa y su velocidad, etc. Además, varía también la sección transversal de la partícula debido a su rotación en la corriente de aire.

Por ello, la velocidad crítica se determina en tubos aerodinámicos, entre los que han adquirido gran aceptación las canales verticales cónicas que aumentan su diámetro en la parte superior. Figura 2.3.

En este caso, la corriente de aire dirigida de abajo hacia arriba, inicialmente posee diferente velocidad. Al introducir la semilla en esta canal, se puede

determinar cuando comienza a flotar y por tanto, su velocidad crítica de acuerdo a la escala.

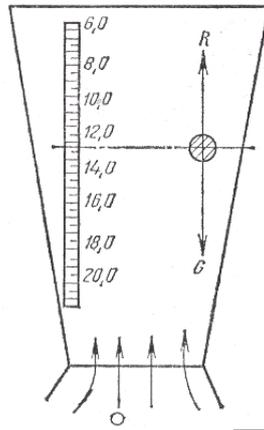


Figura 2.3 Dispositivo para determinar la velocidad crítica de las semillas.

Para determinar ésta de manera más exacta, se emplea el método de medir la columna dinámica ( $h_d$ ) con el tubo de Pitó y un micro manómetro. Si se toma como valor de la temperatura 20 °C, 103 Mpa de presión atmosférica y una densidad del aire de 1.2 kg / m<sup>3</sup>, la velocidad crítica se determina como:

$$V_{kp} = 1.29\sqrt{h_d}$$

(6)

donde:

$h_d$  - Columna dinámica; [Pa]

Analizando al ecuación (4) y seleccionando arbitrariamente un cuerpo de masa (m) fijo y sin movimiento ( $c=0$ ), se puede determinar la fuerza de resistencia (R) a la acción del flujo de aire que actúa sobre este:

$$R = K\gamma F U^2$$

(7)

La aceleración (j), que se puede comunicar al cuerpo de fuerza (R) se determina como:

$$j = \frac{R}{m} = \frac{K\gamma F}{m} U^2 = K_{\Pi} V^2$$

(8)

donde:

$K_{\Pi}$  - Coeficiente de gravitación.

El coeficiente de gravitación ( $K_{\Pi}$ ) se puede determinar como:

$$K_{\Pi} = \frac{9.8K\gamma F}{G}$$

(9)

El valor de este depende del área de la sección transversal sobre la que actúa la fuerza de gravedad de la partícula. En la medida en que se incrementa el área que se opone a la corriente de aire, aumenta el coeficiente de gravitación. Considerando las ecuaciones anteriores, se puede escribir la siguiente ecuación para determinar la velocidad crítica.

$$V_{kp} = \sqrt{\frac{g}{K_{\Pi}}}$$

(10)

De donde se desprende que, la velocidad crítica es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del coeficiente de gravitación.

La velocidad crítica  $V_{kp}$  para las semillas o granos de cereales se encuentra entre 8 y 17 m/s, el coeficiente de resistencia (K) entre 0.04 y 0.30, y el coeficiente de gravitación ( $K_{\Pi}$ ) entre 0.07 y 0.15.

### **2.1.3 Otras propiedades tecnológicas de los granos.**

Densidad: las partículas de una mezcla de granos y rastrojos poseen diferentes densidades.

Por regla, los granos de cereales poseen mayor densidad que las semillas de hierbas o pastos y por ello, al friccionarlas con partículas de menor densidad, están salen a las capas superiores, mientras que, las más densas descienden.

La densidad de las partículas que forman parte de la mezcla de granos y residuos de cosecha, se acostumbra a determinar en soluciones de diferentes concentraciones y, para formar la solución se usa el nitrato de amonio y nitrato de calcio.

Coefficiente de fricción. Depende de las características morfológicas de las partículas, del estado de las superficies y de la humedad. Los experimentos demuestran que al aumentar la humedad del grano aumenta el coeficiente de fricción.

La velocidad de movimiento relativo de la partícula no ejerce marcada influencia sobre el coeficiente de fricción.

Los valores medios de los coeficientes de fricción por rodadura y por deslizamiento de los diferentes granos son:

Para avena 0.70 y 0.27

Para la avena morisca 0.84 y 0.46

Para el chícharo 0.25 y 0.04

Para la alverja 0.47 y 0.05

Recubrimiento de la semilla con polvos: una de las propiedades de los granos usada para ser separados de los residuos de cosecha, es la propiedad que tienen de retener en su superficies polvo ferromagnético finalmente molido y tamizado.

Esta capacidad se determina por el acabado de sus superficies y por su porosidad. Los granos lisos con poca porosidad son capaces de retener con dificultad ese polvo, mientras que, los granos con superficies corrugadas lo retienen más fácilmente.

La capacidad para retener ese polvo se evalúa por el coeficiente de penetración ( $K_b$ ), que representa a la relación que existe entre la masa ( $m_c$ ) del polvo proyectado contra el grano y la cantidad ( $m_H$ ) que se retiene.

$$K_b = \frac{m_c}{m_H}$$

(11)

Su valor medio para el polvo usado más frecuentemente, el  $\mu\text{XZ-80}$  es igual a:  
0.014 para el trébol.

0.01 para el algodón.

0.08 para la cúscuta.

Sin embargo, embadurnar el grano con polvo y agua o con polvo y aceite, aumentan el valor del coeficiente.

## **2.2 Proceso de trabajo de las cribas o tamices. [31].**

El proceso de trabajo de los tamices planos incluyen los siguientes momentos fundamentales: traslación de la mezcla de granos o impurezas, distribución uniforme de la mezcla por su superficie, entrada del grano por el orificio correspondiente, dejar pasar el grano cuyas dimensiones sean menores que las del orificio practicado. Como resultado, la mezcla se divide en dos partes o fracciones; entrantes y salientes.

La fracción saliente la componen aquellas partículas mayores que las dimensiones de los orificios.

En la medida en que se friccionan los granos de la mezcla contra el tamiz, la cantidad granos presentes en él disminuye y la magnitud de esa disminución depende de la cantidad de suciedades presentes en el material a procesar.

En los tamices destinados a procesar impurezas grandes, a la salida quedan solo el 3 - 5 % de la cantidad inicial, en los clasificadores el 30 – 70 % y en los de semillas el 95 – 97 % del material que se procesa.

Como resultado del movimiento alternativo sobre el tamiz, en la capa de material se produce una redistribución de partículas, las más grandes quedan arriba y las más pequeñas bajan y contactan con el plano superficial del tamiz.

En consecuencia, la longitud de este es necesario seleccionarla, de manera tal que en ella se puedan procesar todas las partículas que puedan pasar por sus orificios.

### **2.2.1 Condiciones del movimiento del material por el plano oscilante.**

Como se ha dicho, la característica cinemática del brazo conducido del mecanismo biela – manivela depende de la relación entre el radio y la longitud de la biela ( $\frac{r}{l}$ ), que puede representarse por las dependencias:

Traslación o movimiento  $x = r (1 - \cos \omega t)$

Velocidad  $v = r \omega \sin \omega t$  ;  $V_{\max} = r \omega$

Aceleración  $j = r \omega^2 \cos \omega t$  ;  $V_{\max} = r \omega^2$

Aceptando estas características para los tamices planos que oscilan en un plano longitudinal, analicemos las condiciones de movimiento del material a procesar en él. [1].

Para resolver el problema se hacen las siguientes suposiciones:

- 1- El material se mueve como una partícula plana.
- 2- La resistencia del aire no ejerce marcada influencia sobre el movimiento del material.
- 3- El coeficiente de resistencia al movimiento del material ( $f$ ) no depende del espesor de la capa y de los factores cinemáticos.

Sobre una partícula de masa ( $m$ ) ubicada sobre un plano inclinado (AB), figura 2.4, actúan la fuerza de gravedad ( $G = mg$ ), la fuerza de inercia ( $P_j = mr\omega^2 \cos \omega t$ ), la reacción (N) y la fuerza de fricción (F).

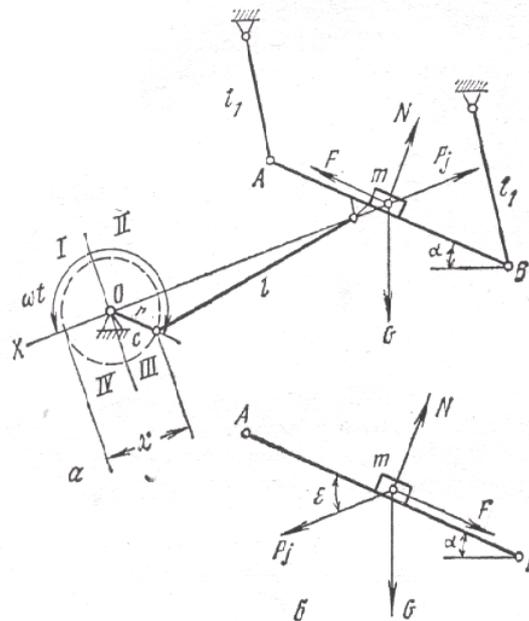


Figura 2.4 Fuerzas actuantes sobre una partícula que se encuentra en un plano inclinado que oscila.

Al encontrarse la biela (C) en los cuadrantes III y IV, el movimiento de la partícula es posible hacia abajo por el plano y en los cuadrantes I y II hacia arriba por el mismo.

El movimiento de la partícula hacia abajo es posible, solo si la proyección de las reacciones sobre el plano de todas las fuerzas actuantes sobre las partículas de izquierda a derecha logran vencer la fuerza de fricción. Por consiguiente, la condición de movimiento del material hacia abajo se puede escribir como:

$$G \text{sen} \alpha + P_j \cos \varepsilon > F = fN = \tan \varphi (G \cos \alpha - P_j \text{sen} \varepsilon)$$

ó

(12)

$$mg \text{sen} \alpha + mj \cos \varepsilon > \tan \varphi (mg \cos \alpha - mj \text{sen} \varepsilon)$$

Donde:

$\alpha$  -Ángulo de inclinación del plano;

$\varepsilon$  -ángulo entre el plano y la dirección de las oscilaciones;

$\varphi$  -ángulo de fricción del material de la partícula en el plano.

Realizando las transformaciones correspondientes, para los puntos muertos en el movimiento del plano, cuando ( $\cos \omega t = 1$ ), obtenemos el valor de la

aceleración del plano, que hace posible el deslizamiento de la partícula hacia abajo.

$$J_{BH} = w^2 r \rangle g \frac{\text{sen}(\varphi + \alpha)}{\cos(\varepsilon - \varphi)}$$

(13)

La condición de movimiento de la partícula hacia arriba por el plano se puede representar de la siguiente forma.

$$P_j \cos \varepsilon \rangle G \text{sen} \alpha + F$$

ó

(14)

$$m_j \cos \varepsilon \rangle mg \text{sen} \alpha + \tan \varphi (mg \cos \alpha + m_j \text{sen} \varepsilon)$$

De donde, después de las transformaciones necesarias y para las posiciones de los puntos muertos, se calcula la aceleración necesaria como:

$$J_{BB} = w^2 r \rangle g \frac{\text{sen}(\varphi + \alpha)}{\cos(\varepsilon - \varphi)}$$

(15)

La separación de la partícula del plano es posible, solo en caso de que la fuerza de inercia ( $P_j$ ) esté orientada de izquierda a derecha y la reacción ( $N = 0$ ), es decir:

$$N = mg \cos \alpha - m_j \text{sen} \varepsilon = 0$$

(16)

De donde, para las tres condiciones:

$$J_0 = w^2 r \rangle g \frac{\cos \alpha}{\text{sen} \varepsilon}$$

(17)

Tomando la relación ( $K = \frac{w^2 r}{g}$ ) como indicadora del régimen cinemático, se

pueden obtener los siguientes tipos de movimiento de la partícula.

- Movimiento conjunto con el grano del tamiz.

$$K_c \langle \frac{\text{sen}(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon - \varphi)}$$

- Deslizamiento de la partícula hacia abajo.

$$K_H > \frac{\text{sen}(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon - \varphi)}$$

- Deslizamiento de la partícula no solo hacia abajo, sino hacia arriba también.

$$K_B > \frac{\text{sen}(\varphi + \alpha)}{\cos(\varepsilon - \varphi)}$$

- Separación de la partícula del plano de la criba.

$$K_0 > \frac{\cos \alpha}{\text{sen} \varepsilon}$$

Para que los granos como material adquieran movimiento en el plano del tamiz, sin que se despeguen de este y se deslicen de abajo a arriba y de arriba a abajo, el indicador del régimen cinemático ( $K_p$ ) debe encontrarse en las proporciones.

$$K_0 > K_p > K_B > K_H$$

El ángulo de fricción de los granos de cereales sobre acero es de  $\varphi = 18 - 30^\circ$ . El ángulo de inclinación del tamiz debe ser menor que esta magnitud, para que no exista rodamiento del material por éste cuando esté detenido.

### **2.2.2 Condiciones de penetración del grano en el orificio del tamiz.**

Primera condición fundamental – Se produce la entrada del grano al orificio solo si sus dimensiones son menores que las dimensiones del orificio elaborado en el tamiz.

Segunda condición – Esta se relaciona con la velocidad de movimiento del grano por el tamiz. En este sentido, el trabajo cinemático del tamiz debe garantizar un régimen de velocidad tal, que no se exceda de ningún límite, ya que la velocidad de movimiento relativo de la partícula debe garantizar su coincidencia con el orificio del tamiz.

Analicemos el caso en que pasa una partícula esférica de diámetro ( $2r$ ) por un orificio de longitud ( $l$ ) en el tamiz inclinado a un ángulo ( $\alpha$ ) con respecto a la horizontal y, que ejecuta un movimiento alternativo longitudinal. Figura 2.5.

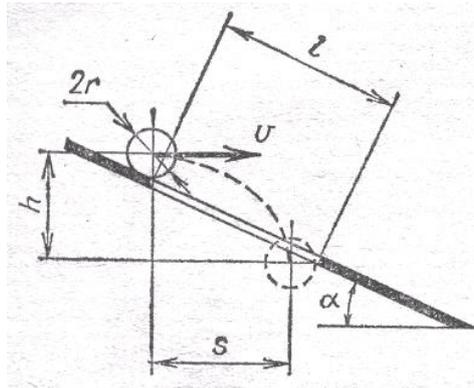


Figura 2.5 Esquema para determinar la condición de paso de la partícula por el tamiz.

Supongamos que la partícula se mueve como un cuerpo lanzado con una velocidad inicial ( $V$ ). Cuando la velocidad es poca y el orificio posee suficiente longitud, la partícula tiene tiempo de penetrar en el orificio.

Si la velocidad es considerable y la longitud del orificio es poca, esta puede no coincidir con el orificio en su vuelo o ser expulsada de la criba como consecuencia de otros factores.

El caso extremo, cuando no es posible que la partícula pase por el orificio porque se ha golpeado en su mismo centro con un borde de este.

En este caso, despreciando la resistencia del aire y el espesor del tamiz, se pueden escribir dos ecuaciones que describen el movimiento horizontal y vertical de la partícula.

$$S = l \cos \alpha - r = vt \qquad h = l \sin \alpha + r = \frac{gt^2}{2}$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores, encontramos que para los valores dados de dureza del grano, longitud del orificio y ángulo de inclinación del tamiz, con la correspondiente velocidad relativa de la partícula, se asegura su entrada por el orificio si:

$$V \leq (l \cos \alpha - r) \sqrt{\frac{g}{2(l \sin \alpha + r)}}$$

(18)

De la ecuación se observa que, mientras mayor sea ( $L$ ) mayor puede ser la velocidad a alcanzar. Con el correspondiente aumento del espesor de la partícula y el ángulo de inclinación del tamiz, es necesario reducir la velocidad.

Para clasificar el trigo, por ejemplo, la velocidad del material por el tamiz frecuentemente se toma entre 0.35 y 0.45 m/s.

### 2.3 Régimen cinemático del tamiz. [32].

El carácter del movimiento del material por el plano inclinado depende de los indicadores del régimen cinemático ( $K$ ) y el ángulo de inclinación del plano ( $\alpha$ ), oscilaciones ( $\varepsilon$ ) y ángulo de fricción ( $\varphi$ ) del material por la superficie de trabajo. En la figura 2.6 se representa el gráfico de valores límites de los indicadores del régimen cinemático en dependencia de las oscilaciones para  $\alpha=10^\circ$  y  $\varphi=25^\circ$ . Aunque estos valores pueden tener magnitudes positivas y negativas, todas las curvas se han construido sobre el eje de las abscisas, ya que solo nos interesan sus valores absolutos.

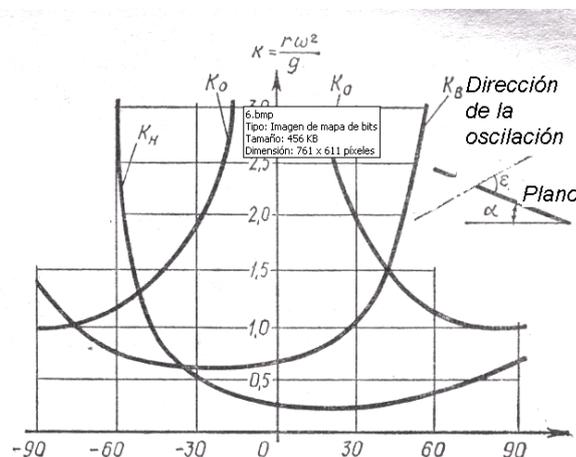


Figura 2.6 Gráfica de los valores extremos del régimen cinemático en dependencia de la dirección de las oscilaciones y ángulo de inclinación del plano.

Las coordenadas de puntos que se encuentran por arriba de las curvas correspondientes, indican para qué indicadores del régimen cinemático se puede obtener uno u otro tipo de movimiento.

Comparando  $K_H = f(\varepsilon)$  y  $K_B = f(\varepsilon)$  en el campo de las magnitudes positivas, ( $\varepsilon$ ) indica que  $K_B$  es ligeramente superior a  $K_H$ .

Por consiguiente, el deslizamiento de la partícula hacia abajo será mayor que hacia arriba. La relación entre estas magnitudes determina la velocidad relativa del material y como resultado, la productividad del tamiz.

La calidad del trabajo del tamiz depende de la velocidad de deslizamiento del material por su superficie y del camino recorrido por cada partícula de manera

independiente. Reduciendo la velocidad relativa y aumentando el camino a recorrer por el material, se logra elevar la calidad de la limpieza y de la clasificación. Sin embargo, la primera condición atenta contra la productividad del proceso. Por ello, reducir la velocidad está limitado o condicionado a las exigencias de productividad del proceso. [17].

Aumentar el camino recorrido por el material aumenta la probabilidad de que el grano coincida con un orificio, lo que se logra a veces haciéndolo saltar de abajo a arriba y viceversa por el tamiz.

La figura 2.7 se ha construido para  $\alpha=5^\circ$  y  $\varphi=25^\circ$  y permite determinar el tipo de movimiento del material para diferentes condiciones del régimen cinemático y de las oscilaciones y, en caso contrario, de acuerdo al régimen de movimiento deseado de la partícula, seleccionar las magnitudes (K) y ( $\varepsilon$ ).

Los factores señaladas en gran medida dependen de las propiedades de las variedades de los granos a separar y de su humedad. Así por ejemplo, para procesar trigo se recomienda  $K_p = 2.2$  a  $3.0$  para  $\alpha=6 - 9^\circ$  y  $\varepsilon = 0 - 8$ , para chícharo se recomienda  $K_p = 0.5 - 0.7$  para  $\alpha=4 - 8$  y  $\varepsilon = 3 - 5^\circ$ , para semillas de pastos  $K_p = 0.8 - 1.6$  para  $\alpha=1 - 6$  y  $\varepsilon = 5^\circ$ . A la vez, para cada caso concreto es necesario, orientándose en los datos que se brindan, realizar las correcciones correspondientes con el objetivo de seleccionar el régimen óptimo de trabajo del tamiz.

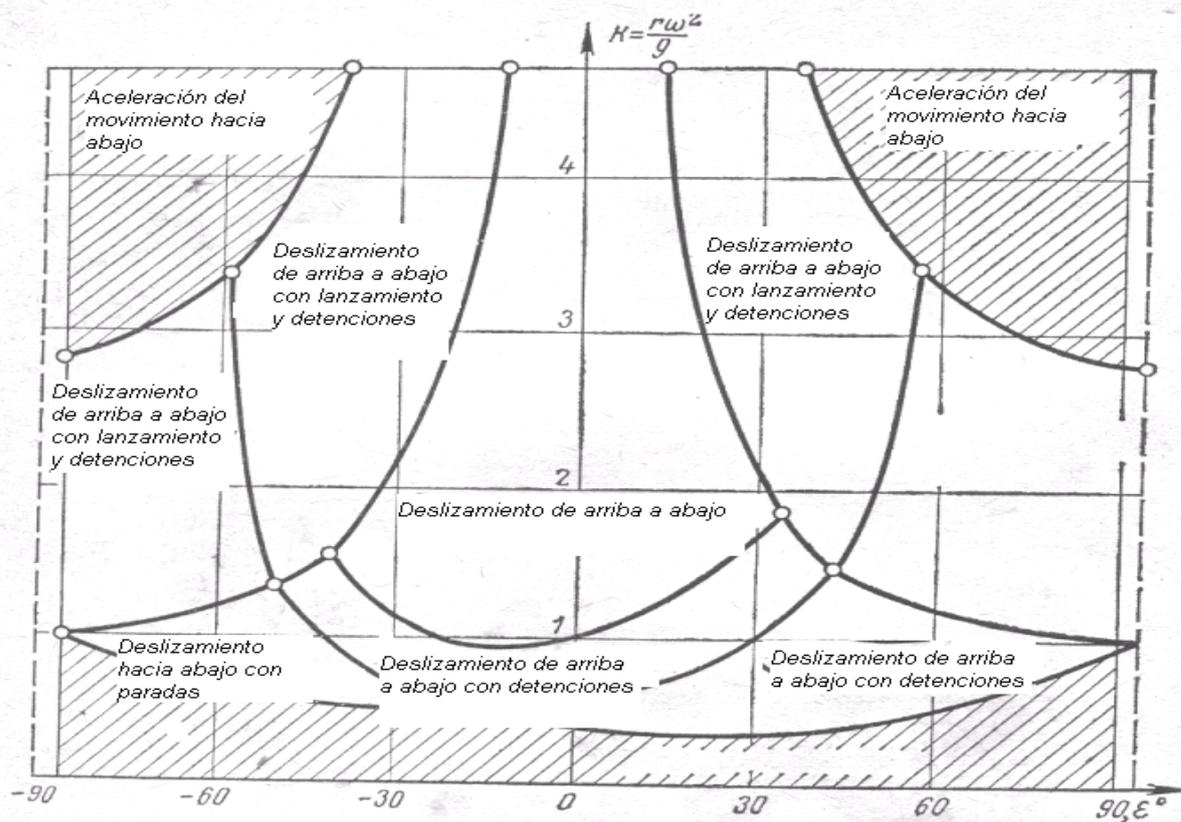


Figura 2.7 Gráfica de las posibilidades de movimiento del material para diferentes indicadores del régimen cinemático y dirección de las oscilaciones.

### 2.3.1 Velocidad media de movimiento del material. [26].

Las oscilaciones armónicas del plano inclinado del tamiz sobre el que se encuentra el punto material se puede caracterizar por las ecuaciones:

$$V = r\omega \sin \omega t$$

$$j = r\omega^2 \cos \omega t$$

donde

v y j - Velocidad y aceleración respectivamente;

r – radio del mecanismo de la biela que pone un movimiento al plano;

W - velocidad angular de la biela;

t - tiempo para el movimiento inicial del plano (contado desde su posición de punto muerto)

Se construyen dos graficas coincidentes de variación de (V) y (j) del plano y del material (grano), para determinar visualmente el intervalo cuando el grano se mueve por el tamiz y cuando éste se mueve junto al tamiz.

En el eje de abscisas, figura 2.8 colocamos el tiempo (t), representándolo como el ángulo de giro de la biela ( $\theta$ ), y la velocidad angular ( $w$ ), y por el eje de las ordenadas (v) y (j).

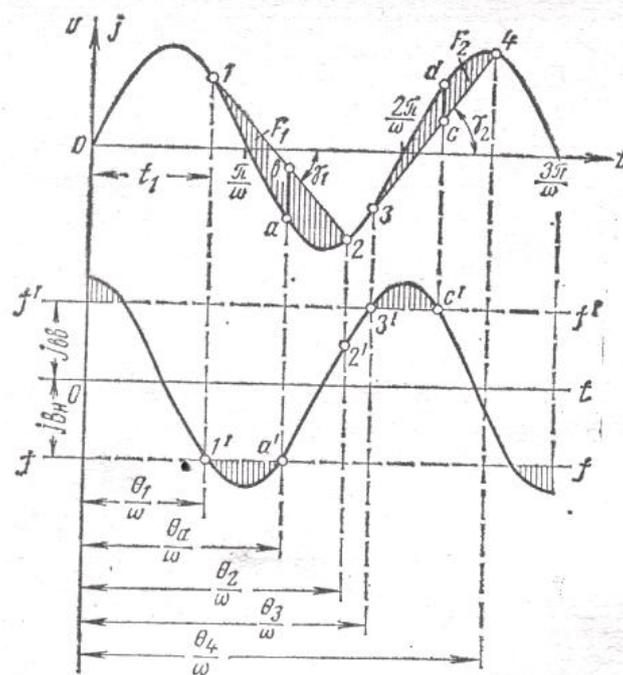


Figura 2.8 Gráfica de velocidades y aceleración.

La grafica de la velocidad representa una senoide cuyo máximo es ( $wr$ ) y el período total es  $wt = 2\pi$ .

La gráfica de aceleración es una cosenoide con máximo ( $rw^2$ ) y el mismo período.

Sobre la gráfica de aceleración trazamos las rectas paralelas ( $f - f$ ) y ( $f' - f'$ ) separadas del eje de las abscisas a una distancia  $J_{BB}$  y  $J'_{BB}$  en una escala dada, determinada por las ecuaciones (13) y (15) .La variación de la aceleración relativa del grano se representa sobre la diferencia entre la ordenada de la cosenosoidal y las dos líneas rectas trazadas.

En el momento de tiempo  $t_1 = \frac{\theta}{w}$ , la partícula se mueve hacia abajo por el plano. En este caso la velocidad del plano se determina por la ordenada senoide en el punto 1.

Considerando  $J_{BB}$  como la primera derivada de la velocidad (V), podemos trazar en el punto 1 una tangente a la misma bajo un ángulo ( $\gamma_1$ ).

En este caso:

$$\tan \gamma_1 = J_{BB} \frac{Mt}{Mv}$$

Donde:

Mt y Mv -escala correspondientes al tiempo y a la velocidad.

La recta 1-2 caracteriza el valor absoluto de la velocidad de la partícula. La diferencia entre la ordenada de la senoide y la recta, indica en la escala adecuada la velocidad del movimiento.

Su valor máximo se corresponde con el segmento (ab) que coincide para la vertical con el punto (a') donde la aceleración del tamiz es igual a  $J_{BH}$ .

En el momento de tiempo  $t_2 = \frac{\theta_2}{w}$ , el desplazamiento relativo de la partícula

hacia abajo se detiene y, hasta que no se alcanza el momento de tiempo

$t_3 = \frac{\theta_3}{w}$ , la misma se balanceará de manera solidaria al tamiz.

El movimiento relativo hacia arriba por el tamiz, comenzará en el momento de

tiempo  $t_3 = \frac{\theta_3}{w}$ , cuando su aceleración alcanza la magnitud  $J_{BB}$ . Relacionado

con esto, por el punto (3) en la gráfica de aceleración se traza la tangente (3-4)

bajo un ángulo  $\gamma_3$  que se determina como  $\tan \gamma_3 = j_{BB} \frac{Mt}{Mv}$ .

La velocidad relativa de movimiento hacia arriba alcanza su máximo valor en el

momento  $t_c = \frac{\theta_c}{w}$ , determinado por el segmento (cd).

En el momento  $t_4 = \frac{\theta_4}{w}$ , el desplazamiento relativo de la partícula hacia arriba

se invierte y se encontrará entonces en reposo relativo.

De este modo, para cada período completo de oscilación del tamiz, la partícula

se moverá hacia abajo en los intervalos desde  $\frac{\theta_1}{w}$  hasta  $\frac{\theta_2}{w}$ , se encontrará en

reposo relativo y en los intervalos  $\frac{\theta_2}{w}$  hasta  $\frac{\theta_3}{w}$  y se moverá hacia arriba por el

tamiz en el intervalo  $\frac{\theta_3}{w}$  hasta  $\frac{\theta_4}{w}$ .

Cuando  $t_3 = \frac{\theta_3}{w} < t_2 = \frac{\theta_2}{w}$  , es necesario trazar la tangente por el punto (2), debido a que la fase final del movimiento hacia abajo coincide con el inicio de la fase del movimiento hacia arriba, es decir, la partícula se mueve hacia arriba y hacia abajo por el tamiz sin detenerse.

Las áreas ( $F_1$ ) y ( $F_2$ ) en la escala seleccionada, representan el segmento de trayectoria recorrido por la partícula hacia arriba y hacia abajo.

Por la diferencia entre ( $F_1$  y  $F_2$ ) se puede evaluar el desplazamiento absoluto de la partícula para un período completo de oscilación  $T = \frac{2\pi}{w}$ .

Por ello, es posible determinar la velocidad media de desplazamiento del material sobre el tamiz con la ayuda de un planímetro y un dibujo de las áreas ( $F_1$  y  $F_2$ ) en las escalas correspondientes  $\mu_t$  y  $\mu_v$  por la ecuación:

$$V_{cp} = \eta \frac{(F_1 - F_2) \mu_v \mu_t}{2\pi} w$$

(19)

donde:

$\eta$  - Coeficiente que tiene en cuenta la fricción interna de la capa de material a procesar, de liberación de sus residuos y otros fenómenos. Se selecciona entre 0.4 – 0.7.

### 2.3.2 Calidad del trabajo y productividad del tamiz. [27].

Calidad del trabajo del tamiz- Se evalúa por el indicador de reparación total de cuerpos extraños y partículas ( $\varepsilon$ ), que se determina en porciento como:

$$\varepsilon = \frac{m}{m_0} 100$$

(20)

donde:

$m$  –masa de las fracciones separadas

$m_0$ - masa de las impurezas y granos vanos contenidos en el material inicial, que requieren ser separados.

La magnitud ( $m_0$ ) se determina por el método de las muestras. (3 -5) muestras de no menos de 1 a 2 Kg cada una y su procesamiento en un clasificador durante 10 -15 min.

Tomando las impurezas de los granos con dimensiones que se correspondan con las menores de los orificios del tamiz se determina ( $m_0$ ).

El valor de ( $m$ ) también se determina pasando la fracción separada del material inicial después de 3 -5 pruebas.

Si las muestras para determinar ( $m_0$ ) y ( $m$ ) son diferentes en peso, entonces es necesario determinar el porcentaje de partículas desprendidas del material inicial y las reales existentes. Por esta vía también se puede calcular ( $\varepsilon$ ).

Este indicador depende de la correcta selección del tamiz, del grado de suciedad de la criba y del régimen cinemático de oscilaciones.

El tamiz se selecciona en correspondencia con la tarea asignada. Para separar de la mezcla de granos e impurezas las espigas, por ejemplo, se emplean tamices para espigas, para separar las pequeñas suciedades otros y para clasificar los granos por su espesor o ancho, se emplean los tamices de clasificación.

Las dimensiones de los orificios de trabajo del tamiz ( $a$ ), pueden ser determinadas por la dimensión media aritmética ( $M$ ) del grano y por la desviación media cuadrática ( $\sigma$ )

Para tamices de espigas  $- a_k \geq M - 3\delta$

Para los tamices destinados a seleccionar semillas  $- a_{\text{II}} \approx M - (1.5 - 2.0)\delta$

Para los tamices clasificadores de 2da clase de producto  $- a_c \approx M - \delta$

La sobrecarga del tamiz conduce a la formación de una gruesa capa de material y, como resultado, las partículas ligeras no pueden evacuarse, por lo que, disminuye la calidad de la limpieza. Como resultado, con el aumento de la carga aumenta la productividad de trabajo del tamiz pero se reduce la calidad del trabajo realizado.

Si se aumentan los indicadores del régimen cinemático aumenta la velocidad de deslizamiento de la partícula por el tamiz y se reduce el indicador de calidad de trabajo.

Por ello, para alcanzar indicadores de calidad adecuados en el trabajo del tamiz, es necesario seleccionar de manera adecuada su longitud.

En la figura 2.9 se muestra la gráfica de variación del indicador de calidad ( $\varepsilon$ ) en dependencia de la longitud del tamiz ( $L$ ).

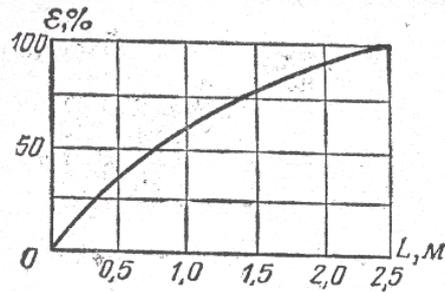


Figura 2.9 Variación del indicador de limpieza en dependencia de la longitud del tamiz.

El carácter de esta curva indica, que el proceso de cernido al final del tamiz con una longitud de 2.5 m se retarda, por lo que, el indicador de calidad alcanza prácticamente el 100%.

**2.3.3 Productividad del tamiz (Q).** Se determina por la magnitud de la entrega contra la unidad de ancho del mismo ( $q_b$ ) en kg/m.s o por su carga específica contra unidad de área  $q_f$  en kg/m<sup>2</sup>s

La entrega de granos ( $q_f$ ) en los tamices de combinadas es igual a 1.5-2.kg/m<sup>2</sup>s, en los tamices de limpieza primarias de las cosechadoras de granos 1.6 – 2.0 y en los tamices clasificadores 0.5 – 0.6 kg/m<sup>2</sup>s.

Conociendo estas magnitudes y el área del tamiz (F), la productividad de este en (kg/s) se puede determinar por la ecuación:

$$Q = K' q_f F$$

(21)

donde:

K' - Coeficiente que depende del tipo de grano a trabajar y equivale a:

- 1.0 para trigo.
- 0.75 para cebada, chícharo, maíz.
- 0.55 para avena, arroz, frijol y trigo sarraceno.
- 0.2 para el trébol y la alfalfa.

Frecuentemente, el ancho del tamiz se toma menos de 1m y para evitar el pandeo se colocan barras sustentadoras en forma de nervios. Su longitud para la limpieza primaria se toma como (0.8 - 1m), mientras que, para los tamices clasificadores y para eliminar espigas, su longitud oscila entre 1 y 2 m.

En las máquinas actuales con tamices oscilantes, la productividad, por lo general, es baja y por ello, una de las acciones que se ejecutan para

aumentarla, es dotar de vibraciones al tamiz. Con este objetivo, se hace vibrar al tamiz con vibraciones de poca amplitud (0.25 - 2.5mm) y una elevada frecuencia (15 – 50 Gz) preferiblemente en el plano vertical.

Durante la vibro separación, la redistribución de las partículas ocurre de manera intensa, lo que permite, sin afectar la calidad, procesar en una misma unidad de tiempo mayor cantidad de material.

#### 2.4 Cálculo de los parámetros fundamentales de los tamices vibratorios.

[35; 36]

Este cálculo se puede efectuar con la ayuda del nomograma que se representa en la figura 2.10.

En este se representan las escalas: (l) - valor medio de las dimensiones del grano; [mm]; (A) - doble de la amplitud de la vibración; [mm]; (n) – frecuencia de la vibración; [ $\text{min}^{-1}$ ]; (j) – aceleración del tamiz; [ $\text{m/s}^2$ ]; (Vcp) – velocidad media de redistribución de las partículas en la capa de granos con residuos de cosecha; [m/s]; (L) – longitud del tamiz; [m];  $q_0$  – entrega de granos [kg/dm. min].

Usar el nomograma no es difícil, y para ello solo es necesario conocer el valor medio de la dimensión del grano que se toma como indicador para separar la mezcla.

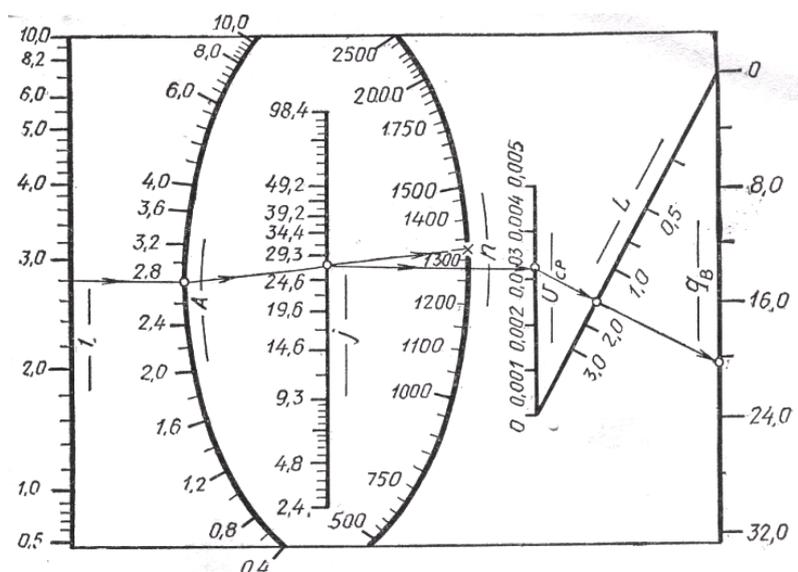


Figura 2.10 Nomograma para el cálculo de los parámetros de los tamices planos vibratorios.

Ejemplo, tomemos como dimensión del grano 2.8 mm. En este caso, consideramos que la recta que une la escala (A) y (n) debe pasar por la escala (j) en un punto correspondiente a  $(j= 3g)$ , donde (g) es la velocidad de la aceleración.

La productividad del tamiz vibratorio (Q) se determina por su ancho conocido y magnitud ( $q_b$ ).

Además de los tamices vibratorios planos, se pueden usar las instalaciones vibratorias centrífugas con cilindros verticales giratorios o con tamices cónicos. Este tipo de tamiz comunica vibraciones en la dirección vertical; las que son muy efectivas en la separación del trigo cuando se hace mover en finas capas.

## 2.5 Proceso de trabajo de la corriente de aire. [37].

La velocidad crítica y el coeficiente de gravitación para uno u otro tipo de grano, partículas de espigas e impurezas, varían en determinados intervalos ajustándose a la ley de distribución normal.

La velocidad crítica de los trozos de tallos, espigas vanas, etc, es significativamente inferior a la velocidad crítica del grano. Por ello, usando una corriente de aire, la mezcla de grano con impureza se puede separar en dos o más fracciones. Para ello se emplean flujos verticales o inclinados.

### 2.5.1 Flujo vertical de aire.

Este se puede obtener a través de la impulsión o a través de la succión. El primer tipo es el más utilizado, debido a que después del paso del chorro de aire por la criba este adquiere una gran uniformidad.

El proceso de trabajo de una corriente de aire vertical figura 2.11, consiste en que el grano, pasando por la criba (1) de la canal vertical, es limpiado de impurezas por el chorro de aire y llega al canal de evacuación (3).

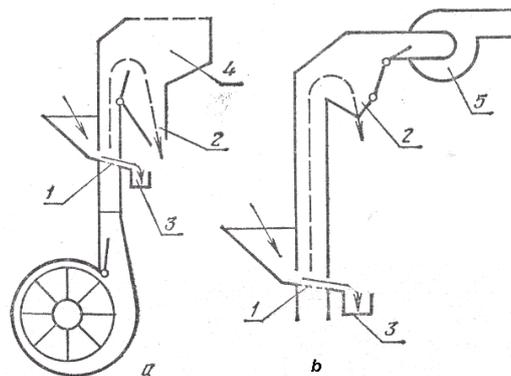


Figura 2.11 Esquema de trabajo de una corriente de aire vertical.

a- Sistema a presión (impulsión). b- Sistema por succión.

1. Malla o criba. 2 y 3- Cámaras para granos e impurezas. 4. Ventana.
5. Ventilador.

Como resultado de la acción del flujo de aire, las partículas ligeras que obviamente poseen menos velocidad crítica que el grano y menor velocidad que el aire en la canal se elevan. En este caso, una parte de ellas pasa a la canal de evacuación (2), ubicada donde se ensancha la canal y, donde, por tanto, se reduce la velocidad del chorro de aire. Las más ligeras salen por la canal de evacuación (4) figura 2.11a o a través del ventilador (5). Figura 2.11b.

En una corriente vertical de aire, sobre la partícula de masa (m) actúa la fuerza de gravedad (G) y la fuerza de resistencia (R). Si la partícula se mueve con velocidad (c), la ecuación diferencial de este movimiento será:

$$m \frac{dc}{dt} - R + G = 0$$

(22)

Considerando las ecuaciones (4) y (5) se puede escribir la ecuación para (R) como:

$$R = \frac{G}{V_{KP}^2} (V - c)^2$$

Después de escribir R y dividir la ecuación por (22) obtenemos:

$$\frac{V_{KP}^2}{9.8} * \frac{dc}{(V - c)^2 - V_{KP}^2} = dt$$

(23)

Considerando que (v- c = w), tenemos (dv = - dw). Por consiguiente, la ecuación anteriormente escrita se puede escribir como:

$$-\frac{V_{KP}}{19.6} \ln \frac{w - V_{KP}}{V - c + V_{KP}} = t + A_1$$

Ó

(24)

$$-\frac{V_{KP}}{19.6} \ln \frac{V - c - V_{KP}}{V - c + V_{KP}} = t + A_1$$

donde:

A<sub>1</sub>- constante de integración.

Para  $t=0$ ,  $c=0$  entonces:  $A_1 = -\frac{V_{KP}}{19.6} \ln \frac{V - V_{KP}}{V + V_{KP}}$

Representando  $V + V_{KP} = P$  ;  $V - V_{KP} = q$  y  $\frac{19.6}{V_{KP}} = \alpha_1$

Obtendremos:

$$\ln \frac{(g - c)p}{(p - c)q} = -\alpha t \quad \text{ó} \quad \frac{(q - c)p}{(p - c)q} = e^{-\alpha t}$$

(25)

Resolviendo esta ecuación obtenemos:

$$c = p + \frac{p - q}{1 + \frac{q}{p} e^{-\alpha t}}$$

(26)

El análisis de las ecuaciones anteriores indica que, la velocidad  $c = f(t)$  crece por la curva (OM) figura 2.12, y asintóticamente se aproxima al valor determinado por la ordenada ( $q = V - V_{kp}$ ).

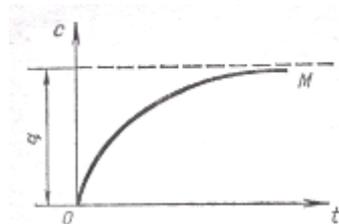


Figura 2.12 Variación de la velocidad de movimiento de la partícula en una corriente de aire vertical.

La velocidad máxima ( $C_{max}$ ) de movimiento de la partícula, se determina por la diferencia entre la velocidad ( $v$ ) del aire y la velocidad crítica de la partícula ( $V_{kp}$ ) como:

$$C_{max} = V - V_{KP}$$

(27)

La velocidad de trabajo ( $V_p$ ) de la corriente de aire ascendente, se selecciona en dependencia de las velocidades críticas de los componentes presentes en la mezcla.

Esta debe ser superior a la velocidad crítica de las fracciones separadas y menor que la velocidad crítica del grano, es decir:

$$V_{KPparticulas} \langle V_p \langle V_{KPdelgrano}$$

En las máquinas trilladoras limpiadoras actuales, lo más común es usar dos canales de limpieza neumática. En el primero se separan las impurezas ligeras como son tallos y polvo, y en la segunda el resto de las impurezas.

La velocidad de la corriente de aire en la primera canal cuando se limpia trigo, avena, cebada se toma como 6 – 6.5 m/s y en la segunda de 7 a 8 m/s.

### 2.5.2 Corriente inclinada de aire.

Esta separa la mezcla bajo el principio de la divergencia en las trayectorias de las partículas independientes; lo que se logra generalmente al dirigir la corriente de aire.

La misma se crea con ventiladores que actúan sobre la mezcla a procesar. En este caso, las partículas con menor coeficiente gravitacional se desvían menos de la vertical y se ubican más cerca del ventilador, mientras que, las partículas más ligeras, (con mayor coeficiente), se separan a distancias mayores. El número de fracciones y la relación entre ellas puede ser cualquiera.

Para aclarar el carácter de la división de la mezcla en la corriente de aire inclinada, consideramos su posición en el plano vertical y consideremos que la partícula posee una velocidad constante en dirección y magnitud en cualquier punto.

Todas las partículas mezcladas con granos se consideran con movimiento libre dentro del flujo y sin choques entre ellas.

En el chorro de aire soplado bajo un ángulo ( $\alpha$ ) con respecto a la horizontal, las partículas de granos se encuentran con determinada velocidad inicial ( $V_0$ ).

Figura 2.13.

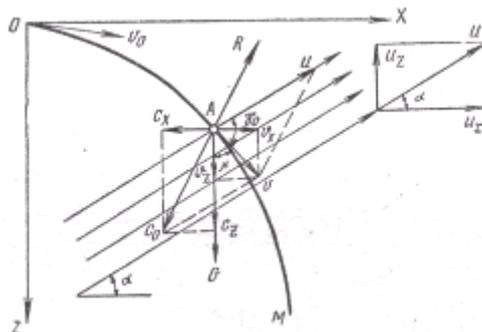


Figura 2.13 Interacción de la columna inclinada de aire con la mezcla de granos e impurezas.

La separación ocurrirá si se cumple la condición de que, la componente vertical de la velocidad del flujo ( $V_z$ ) sea menor que la velocidad crítica de la partícula ( $V_{kp}$ ).

Sobre la partícula de masa ( $m$ ), en el punto (A) actuará la fuerza de gravedad ( $G = mg$ ) y la fuerza de la resistencia de la corriente de aire  $R = K\gamma FV^2$ . La fuerza ( $R$ ) se orienta en sentido contrario a la dirección de la velocidad de movimiento de la partícula ( $C_0$ ).

Bajo la acción de estas fuerzas las partículas se mueven en el flujo por una trayectoria (AM). En este caso, el movimiento total se compone del movimiento de traslación junto al flujo y del movimiento relativo.

Representando los componentes de la velocidad de movimiento relativo como ( $C_x$ ) y ( $C_z$ ). Entonces, la proyección de la velocidad absoluta de movimiento sobre el eje de las coordenadas ( $x$ ) y ( $z$ ) será:

$$V_x = U_x - C_x$$

$$V_z = C_z - U_z$$

donde:

$$V_x = V \cos \alpha$$

$$V_z = V \sin \alpha$$

La dirección de la velocidad ( $V$ ) se aparta de la vertical cierto ángulo ( $\beta$ ), cuyo valor se puede determinar como:

$$\tan \beta = \frac{V_x}{V_z} = \frac{V \cos \alpha - C_x}{C_z V \sin \alpha}$$

(28)

Como demuestran los experimentos, la velocidad relativa ( $C_0$ ) de la partícula varía por su dirección y magnitud en la medida en que se mueve dentro de determinados límites.

La dirección límite para ella será la vertical y en este caso:

$$C_z \rightarrow V_{kp} \quad \text{y} \quad C_x \rightarrow 0$$

Entonces, para el ángulo límite ( $\beta_u$ ) la ecuación (28) se puede escribir como:

$$\tan \beta_u = \frac{V \cos \alpha}{V_{kp} - V \sin \alpha}$$

(29)

donde:

$V_{kp}$ - velocidad crítica del material

Considerando que, para la partícula de grano presente en una corriente de aire la velocidad crítica se encuentra en los límites de la velocidad crítica mínima ( $V_{kp \min}$ ) y la velocidad crítica máxima ( $V_{kp \max}$ ), se puede hacer la deducción de que sus trayectorias se asemejan a las de un proyectil, limitados por los valores máximos y mínimos del ángulo  $\beta_u$ .

La dispersión de su trayectoria se caracteriza entonces por la diferencia de ángulos ( $\beta_{u \max} - \beta_{u \min}$ ), que se puede escribir como:

$$\tan(\beta_{u \max} - \beta_{u \min}) = \frac{\tan \beta_{u \max} - \tan \beta_{u \min}}{1 + \tan \beta_{u \max} * \tan \beta_{u \min}}$$

ó

(30)

$$\tan(\beta_{u \max} - \beta_{u \min}) = \frac{V \cos \alpha (V_{kp \max} - V_{kp \min})}{V_{kp \max} V_{kp \min} - V \sin \alpha (V_{kp \max} + V_{kp \min}) + V^2}$$

De aquí se deduce que, con el aumento de la diferencia  $V_{kp \max} - V_{kp \min}$ , crece la dispersión de la trayectoria, la que decrece en la medida en que aumenta el ángulo ( $\alpha$ ).

Para un flujo horizontal ( $\cos \alpha = 1$ ), la dispersión es mayor que cuando existe un ángulo ( $\cos \alpha < 1$ ).

La mayor dispersión se alcanzará cuando:

$$\frac{d \tan(\beta_{kp \max} - \beta_{kp \min})}{dv} = 0$$

Diferenciando la ecuación (30), se obtienen los siguientes valores de velocidad de la corriente de aire, que garantiza la mayor dispersión de trayectorias.

$$V_p = \sqrt{V_{kp \max} * V_{kp \min}}$$

(31)

Es decir, la velocidad de trabajo de la corriente de aire inclinada ( $V_p$ ), para la cual la mezcla a limpiar adquiere la mayor dispersión, es igual a la media geométrica en los valores extremos de la velocidad crítica.

Los mayores resultados en el trabajo de la corriente de aire inclinada para separar los granos de sus impurezas se obtienen para un ángulo de inclinación con respecto a la vertical de 18° a 30° y una velocidad de trabajo en la cámara de 4.5 a 8.5 m/s.

## 2.6 Productividad de la limpieza neumática.

El trabajo eficiente de los limpiadores neumáticos depende no solo de la relación de velocidad de vuelo de la partícula y de la corriente de aire, sino de la cantidad de material separado por unidad de volumen de aire.

Una excesiva cantidad de partículas presentes en las instalaciones de limpieza neumática, conducen a una reducción de la calidad de la separación debido a las interacciones entre ellas, aunque cuando las partículas se encuentran a una distancia ( $c \geq 5d$ ) unas de otras, donde ( $d$ ) es su diámetro, las interacciones no existen.

El diámetro se calcula como:

$$d = \sqrt[3]{a + b + l}$$

donde:

a, b y l- Espesor, ancho y largo respectivamente.

La relación ( $\mu_{ct}$ ) entre la cantidad de material ( $G_m$ ) en Kg que se desprende en un segundo y la cantidad de aire ( $G_b$ ) en Kg que se entrega en ese tiempo, se denomina concentración de la mezcla.

$$\mu_{cm} = \frac{G_m}{G_b}$$

(32)

Para la limpieza previa de los cereales, la concentración de la mezcla se toma como ( $\mu_{cm} = 0.025 - 0.040$ ) y para la limpieza principal ( $\mu_{cm} = 0.15 - 0.20$ ).

La magnitud ( $G_m$ ) se puede deducir a través de ( $\mu_{cm}$ ) y del gasto de aire  $Q$  [ $m^3/s$ ].

$$G_m = \mu_{cm} * Q * \gamma_b$$

(33)

donde:

$\gamma_b$  - densidad del aire; [ $kg/m^3$ ].

Representando la composición de las fracciones separadas como P (%), escribimos la ecuación para la productividad de los limpiadores neumáticos como:

$$G_0 = \frac{G_m}{p} 100 = \frac{100 \mu_{cm} Q \gamma_b}{p} \quad (34)$$

## 2.7 Teoría y cálculo de los ventiladores. [38].

Tipos de ventiladores: Para crear las corrientes de aire, en las máquinas agrícolas se usan ventiladores centrífugos, los que por la presión que generan (H) se pueden dividir en tres grupos:

- De baja presión ( $H \leq 1000 \text{ Pa}$ ),
- de presión media ( $1000 \text{ Pa} \leq H \leq 3000 \text{ Pa}$ )
- de alta presión ( $H \geq 3000 \text{ Pa}$ ) de presión o empuje.

En las máquinas limpiadoras se usan los de baja presión y en las instalaciones transportadoras neumáticas los de presión media y de alta.

El ventilador está compuesto por la rueda de trabajo, el cuerpo en espiral y el mecanismo de accionamiento. La rueda de trabajo consta de palas rectas o curvas.

Los ventiladores más difundidos son los de paletas planas radiales y los que poseen palas invertidas hacia atrás, pues generan baja presión. El proceso de trabajo de los ventiladores centrífugos consiste en que la rueda de trabajo durante el giro envuelve el aire que penetra. Como resultado, surgen fuerzas centrífugas en la masa de aire, las que con ayuda del cuerpo como aparato guía originan la presión útil.

Por ello, estos ventiladores se llaman centrífugos.

Los parámetros principales que caracterizan a estos ventiladores son:

- Gastos de aire:  $Q \text{ [m}^3/\text{s]}$  y la presión total:  $H \text{ [Pa]}$ , igual a la suma de las presiones dinámicas ( $h_{\text{д}}$ ) y estática ( $h_{\text{ct}}$ ).

### 2.7.1 Ecuación del ventilador.

La deducción de la ecuación consiste en determinar la presión teórica ( $H_t$ ). Para ello, analicemos el ventilador con palas curvas inclinadas hacia atrás de radio ( $r_1$  y  $r_2$ ). Figura 2.14.

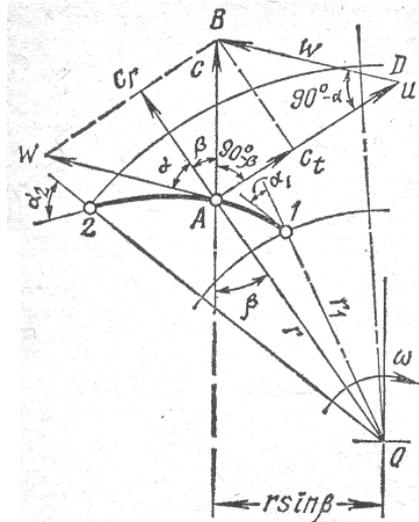


Figura 2.14 Esquema para deducir la ecuación del ventilador.

Supongamos que una partícula se encuentra en el punto (A) a una distancia (r) del centro de giro y se desliza por la pala con una velocidad absoluta (c) ,cuya dirección se determina por el ángulo ( $\beta$ )

La cantidad de movimiento de la partícula de aire que se mueve a (1s) cerca del punto (A) será igual a ( $m'c$ ) y el momento de la cantidad de movimiento  $M = m'cr \sin\beta$

Descomponiendo la velocidad (c) en su componente paralela ( $c_r$ ) y tangencial ( $c_t$ ), representamos (M) como:

$$M = m'rc_t$$

(35)

Por consiguiente se pueden escribir para el punto de (entrada 1) y para el punto de (salida 2) los valores  $M_1$  y  $M_2$ .

$$M_1 = m'r_1c_{t1} \quad \text{y} \quad M_2 = m'r_2c_{t2}$$

La diferencia  $M_2 - M_1 = \Delta M$ , representa la variación de la cantidad de movimiento de la masa de aire ( $m'$ ) al pasar estas por las palas del ventilador.

En este caso el aire, para una velocidad de rotación ( $w$ ) de las palas de trabajo del ventilador, adquiere una energía equivalente a  $N = w\Delta M$  es decir:

$$N = m'w(r_2c_{t2} - r_1c_{t1})$$

(36)

Representando  $u_1 = wr_1$  y  $u_2 = wr_2$  y considerando además que  $m' = Q\gamma_B$ , se puede escribir la ecuación de energía (N) para (Q) en ( $m^3$ ) del aire como:

$$N = Q\gamma_B(u_2ct_2 - u_1ct_1)$$

(37)

La presión teórica ( $H_t$ ) que representa la energía de ( $1 \text{ m}^3$ ) será:

$$H_t = \frac{N}{Q} = \gamma_B(u_2ct_2 - u_1ct_1)$$

(38)

La ecuación obtenida de Euler es la ecuación del ventilador centrífugo y determina la presión teórica creada por el ventilador sin considerar en ésta la fuerza de resistencia.

### 2.7.2 Relaciones fundamentales de los parámetros de trabajo de los ventiladores.

Si nos detenemos a observar la figura 2.14, es fácil notar que la velocidad absoluta del aire ( $c$ ) en el punto (A), se obtiene como resultado de la suma geométrica de la velocidad ( $u$ ) de movimiento de la pala y de la velocidad ( $w$ ) de traslación del aire para el borde de la misma.

Usando ese esquema de velocidades, sustituimos en la ecuación (38) ( $ct_1$ ) y ( $ct_2$ ) por ( $u$ ) y ( $w$ ).

Entonces para el punto (A) tenemos:

$$c_t = u - w \operatorname{sen} \alpha = u \left( 1 - \frac{w}{u} \operatorname{sen} \alpha \right)$$

donde:

$\alpha$  -Ángulo que se forma entre la superficie de la pala con el radio, trazado desde el centro del ventilador a través del punto dado.

Como se deduce de:  $\triangle ABD$ ,  $\frac{w}{u} = \frac{\cos \beta}{\operatorname{sen}(\alpha + \beta)}$ , por ello:

$$c_t = u \left[ 1 - \frac{\operatorname{sen} \alpha \cos \beta}{\operatorname{sen}(\alpha + \beta)} \right];$$

$$c_t = u \frac{\operatorname{sen} \beta \cos \alpha}{\operatorname{sen}(\alpha + \beta)}$$

(39)

Colocamos en la ecuación (38) este valor para el inicio y fin de la pala del ventilador; (puntos 1 y 2) y obtenemos:

$$H_t = \gamma_B \left[ u_2^2 \frac{\text{sen}\beta_2 \cos \alpha_2}{\text{sen}(\alpha_2 + \beta_2)} - u_1^2 \frac{\text{sen}\beta_1 \cos \alpha_1}{\text{sen}(\alpha_1 + \beta_1)} \right]$$

(40)

o después de las sustituciones correspondientes:

$$u_1 = wr_1 ; \quad u_2 = wr_2 \quad \text{y} \quad w = \frac{\pi n}{30}$$

Se obtiene la ecuación:

$$\frac{H_t}{\gamma_B n^2 r_2^2} = \frac{\pi^2}{900} \left[ \frac{\text{sen}\beta_2 \cos \alpha_2}{\text{sen}(\alpha_2 + \beta_2)} - \frac{r_1^2}{r_2^2} * \frac{\text{sen}\beta_1 \cos \alpha_1}{\text{sen}(\alpha_1 + \beta_1)} \right] = B$$

La parte derecha de la ecuación (40) para el tipo de ventilador dado es constante, es decir  $B = \text{constante}$ . En la parte izquierda también  $\gamma_B r_2^2 = \text{constante}$ , por ello:

$$\frac{H_t}{n^2} = \text{constante}$$

(41)

De este modo, la presión teórica (Ht) creada por el ventilador, varía de forma proporcional al cuadrado de la frecuencia de rotación de la pala de trabajo (n).

La condición que caracteriza la discontinuidad del flujo de aire en el ventilador se expresa como:

$$Q = 2\pi r_2 b c r_2$$

(42)

donde:

b –ancho de la pala

$$\text{Como que: } C r_2 = \frac{c t_2}{\tan \beta_2} = \frac{u_2 \cos \alpha_2 \cos \beta_2}{\text{sen}(\alpha_2 + \beta_2)}$$

La última ecuación se puede escribir como:

$$\frac{Q}{b r_2^2 n} = \frac{2\pi^2}{30} * \frac{\cos \alpha_2 \cos \beta_2}{\text{sen}(\alpha_2 + \beta_2)} = c$$

(43)

Para el ventilador en cuestión, la parte derecha de esta ecuación es constante, es decir  $c = \text{constante}$ . En la parte izquierda  $b r_2^2 = \text{constante}$

Por consiguiente:  $\frac{Q}{n} = \text{constante}$   
 (44)

De aquí se puede concluir una segunda relación muy importante. El gasto de aire (Q) es proporcional a la frecuencia de giro de la rueda de trabajo (n).

Gracias a la ecuación (38)  $N = Q \cdot H$  y como resultado de las ecuaciones (40) y (43) se puede escribir:

$$\frac{N}{\gamma_B b r_2^4 n^3} = BC = D = \text{const.} \quad \text{ó} \quad \frac{N}{n^3} = \text{const.}$$

45)

Es decir, la energía que adquiere el aire, y como resultado el gasto de energía en el trabajo del ventilador, es proporcional al cubo de la frecuencia de rotación del eje del ventilador.

Esta es la tercera importante relación de parámetros de trabajo del ventilador. Las relaciones anteriormente descritas poseen un gran significado para la selección o proyectos de los ventiladores.

Un nuevo ventilador con parámetros ( $Q_x; H_{tx}; N_x; r_x; b_x; n_x$ ), se selecciona si esos parámetros se corresponden con los conocidos ( $Q; H_t; N; r; b; n$ )

En cuerpos geométricos equivalentes las dimensiones lineales son proporcionales y las angulares idénticas. En ventiladores similares, se observa que se deben conservar idénticas dimensiones lineales, áreas y dimensiones angulares.

La relación de presión, gastos y energía gastada para ventiladores similares se expresan a través de la relación de dimensiones de este modo:

$$\frac{H_{tx}}{H_t} = \frac{r_x^2}{r^2} * \frac{n_x^2}{n^2}$$

(46)

$$\frac{Q_x}{Q} = \frac{r_x^2 b_x}{r^2 b} * \frac{n_x}{n}$$

(47)

$$\frac{N_x}{N} = \frac{r_x^4 b_x}{r^4 b} * \frac{n_x^3}{n^3}$$

(48)

## 2.8 Características de los ventiladores.

Para evaluar los ventiladores se usan sus características cuantitativas y cualitativas.

### 2.8.1 Características cuantitativas de los ventiladores.

Las características cuantitativas de los ventiladores son: curvas de variación de la presión, potencia y coeficiente de trabajo útil en dependencia del gasto de aire. Estas características pueden ser dimensionales o adimensionales como se observa en la figura 2.15, donde se representan las características cuantitativas del ventilador de la combinada ПК-2 a modo de ejemplo.

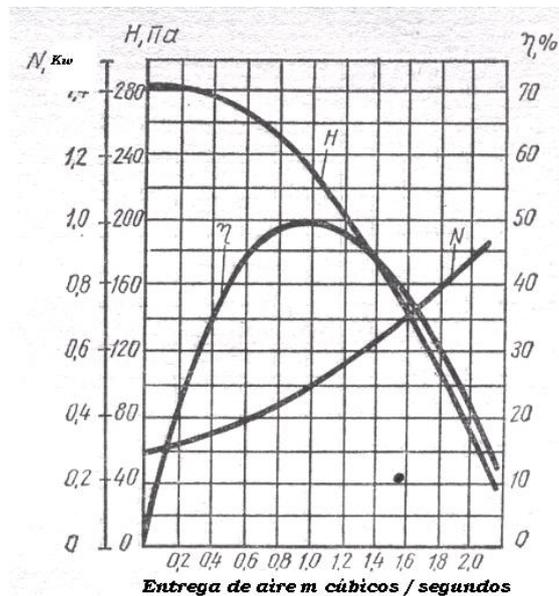


Figura 2.15 Dimensiones cuantitativas de las características del ventilador.

Para obtener las características dimensionales del gasto  $Q$  ( $m^3/s$ ), se hace variar la abertura del orificio de salida y el valor se determina por la ecuación

$$Q_i = uF_i$$

(49)

donde:

$F_i$  - Área del orificio de salida

$u$  - Velocidad de la corriente de aire en el orificio de salida, determinada después de medir la presión dinámica ( $h_{\pi}$ ) por la fórmula (6).

El coeficiente manométrico de trabajo útil se calcula como:

$$\eta = 10^{-2} \frac{QH}{N}$$

(50)

donde:

Q – Gasto; [m<sup>3</sup>/s]

H - Presión; [Pa]

N - Potencia; [Kw]

El académico ruso Gariachkin, propuso el método de construcción de las características adimensionales del ventilador por los datos de las características dimensionales.

Para ello, figura 2.16, por el eje de las abscisas se coloca la magnitud (K) que caracteriza la resistencia de la red y por el eje de las ordenadas el gasto (Q'), la presión total (H'), la presión estática (h'<sub>ct</sub>), la potencia demandada (N') y el coeficiente de trabajo útil (η') correspondiente a 1000 rpm del eje del ventilador.

El indicador (K), que caracteriza a la pérdida de energía en la corriente de aire producto de la fricción con las paredes de la canal, la variación en la dirección del movimiento y otras causas, se determina por la ecuación:

$$K = \sqrt{\frac{h_{\Delta}}{h_{\Delta} + h_{ct}}}$$

(51)

Para los ventiladores de máquinas agrícolas frecuentemente (K= 0.25 – 0.45).

Las características adimensionales dan una idea de las propiedades de una serie de ventiladores similares. Usándolas, se pueden construir las características dimensionales para ventiladores similares con otras dimensiones y parámetros de trabajo.

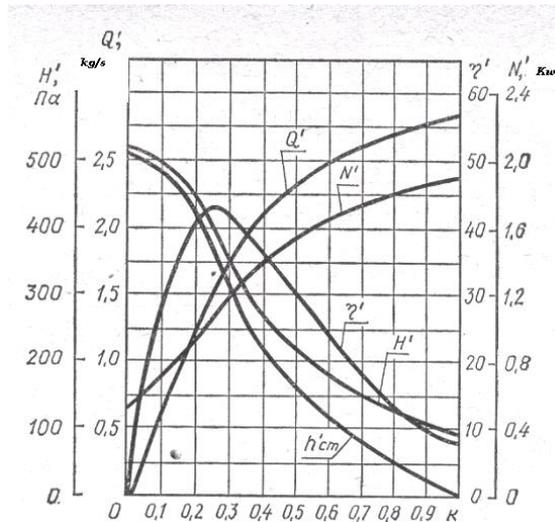


Figura 2.16 Características adimensionales cuantitativas de los ventiladores.

### 2.8.2 Características cualitativas.

Las características cualitativas de los ventiladores, frecuentemente se representan por sus curvas de velocidad a la salida de la canal, o por la curva de variación de velocidades de la corriente de aire por secciones. Con ayuda de estas se obtienen las diferencias de corrientes de aire creadas por los ventiladores.

### 2.9 Cálculo de los ventiladores agrícolas.

Los datos iniciales para seleccionar un ventilador son: el gasto de aire ( $Q$ ; [ $m^3$ ]) y la presión total ( $H$ ; [ $Pa$ ]).

La presión total ( $H$ ) se deduce de las presiones dinámicas ( $h_{\pi}$ ) y estáticas ( $h_{ct}$ ) como:

$$H = h_{\Delta} + h_{ct}$$

(52)

donde:

$u$  – Velocidad media del aire a la salida; [ $m/s$ ]

$\gamma_B$  - densidad del aire; [ $kg/m^3$ ]

La presión dinámica se determina por la energía cinética entre unidad de volumen de aire como:

$$h_{\Delta} = \gamma_{\pi} \frac{u^2}{2}$$

(53)

La presión estática se determina en dependencia de la resistencia en la red que aparece durante el movimiento de la corriente de aire.

Esta depende de las pérdidas en el ventilador, de la fricción del aire contra las paredes de la canal, las que ocurren cuando se flecta la canal, en la escotilla, en la red de canales internos, en la fricción con la criba y en aquellos que se originan como consecuencia de la presencia en la corriente de tallos.

Las pérdidas por estas causas son proporcionales a la presión dinámica. Por consiguiente, la presión estática ( $h_{ct}$ ) puede ser representada por la ecuación:

$$h_{ct} = (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots + \varphi_n) \frac{\gamma_n u^2}{2}$$

Donde

$\varphi_i$  - coeficiente de resistencias locales.

Debido a que cada uno de estos factores son difíciles de considerar, entonces la resistencia indicada se evalúa por analogía con la resistencia de construcciones conocidas de sistemas neumáticos, equipados con ventiladores similares.

De acuerdo a los valores seleccionados o calculados por la ecuación (51) para ( $K$ ), se determina la velocidad ( $U_0$ ) del aire succionado a través de la escotilla de entrada del ventilador de acuerdo a la fórmula empírica:

$$U_0 = 1.26K\sqrt{H}$$

(54)

Se puede considerar además que ( $U_0$ ) es igual a la velocidad de trabajo de la corriente de aire a la salida de la garganta del ventilador ( $U_2$ ), la que se determina en dependencia de la composición del material a procesar.

La velocidad ( $U_2$ ) debe ser superior a la velocidad crítica ( $U_{kp}$ ) de los componentes, los que deben ser evacuados fuera de la máquina, es decir:

$$U_2 = \alpha U_{kp}$$

(55)

donde:

$\alpha$  - coeficiente de superación de la velocidad, igual a (1.1 – 1.7) para tallos de longitud 200 mm, (1.9 – 3.7) para partes de estos, (2.5 – 5.0) para rastrojos y (1.5 – 3.0) para partículas.

De la ecuación (33) que relaciona el gasto de aire (Q) con la cantidad de material separado de la mezcla ( $\delta_m$ ), por una magnitud conocida se calcula otra. En este caso para los cálculos, la concentración de la mezcla se toma: (0.2 – 0.3) para los ventiladores de impulsión que no conciben el paso del material a su través y (0.14—0.15) para los ventiladores que si pasan el material a través de sus aspas.

La presión teórica ( $H_t$ ) se halla como una parte de la acción de la presión total (H) entre el coeficiente de trabajo útil.

$$H_t = \frac{H}{\eta}$$

(56)

donde:

$\eta$  - coeficiente de trabajo útil manométrico, tomado para características adimensionales del ventilador.

**El diámetro de la escotilla de entrada** para una entrada doble de aire se calcula como:

$$D_0 = \sqrt{\frac{2Q}{\pi U_0}}$$

(57)

Se usa para estos fines además la ecuación de Polinsky, deducida de la condición de pérdidas mínimas a la entrada del aire.

$$D_0 = 2.57 \sqrt{\frac{\delta \lambda_0 Q}{\mu_0 (1-U)n}}$$

(58)

donde:

$\delta$  - coeficiente de uso del orificio de entrada, igual a (0,65 - 0,85) para los ventiladores de máquinas agrícolas.

$\lambda_0$  – relación  $D_0 : D_1$  de diámetros del orificio de entrada y diámetro interior de la rueda del ventilador. (1,0 - 1,3).

$\mu_0$  – coeficiente de compresión del flujo. Para  $\lambda_0 = 1$  igual a (0,8 -0,9), para  $\lambda_0 > 1$  igual a (0,9 -1,0).

$U$  - coeficiente de rotación complementaria de la corriente de aire (0,42 - 0,46).

n - frecuencia de rotación de las hélices del ventilador. Para ventiladores de máquinas agrícolas (450 – 1000) r.p.m.

El diámetro exterior de la rueda de trabajo se determina como:

$$D_k = \frac{2}{n} \sqrt{\frac{H_t}{\varphi \gamma_B}}$$

(59)

donde:

$\varphi$  – coeficiente que indica la desviación de las velocidades absolutas en el interior y exterior de los biseles de las palas a partir de la velocidad circular.

El coeficiente ( $\varphi$ ) depende de la forma de las palas y del régimen de trabajo.

$$\varphi = \frac{\pi^2}{900} \left[ \frac{i}{1 + \tan \alpha_2 \tan \varepsilon_2} - \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \frac{1}{1 + \tan \alpha_1 \tan \varepsilon_1} \right]$$

donde:

$\alpha_1$  y  $\alpha_2$  – Ángulos de la tangente trazada a las palas de la rueda y su radio a la entrada y salida.

$\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$  - ángulos entre la perpendicular al radio y la dirección de la velocidad en el final interior y exterior de la pala.

El ángulo ( $\varepsilon_2 = 2 - 3^\circ$ ), y el ángulo ( $\varepsilon_1$ ) se puede determinar de la gráfica elaborada a partir de datos experimentales para diferentes valores de (K).

Figura 2.17.

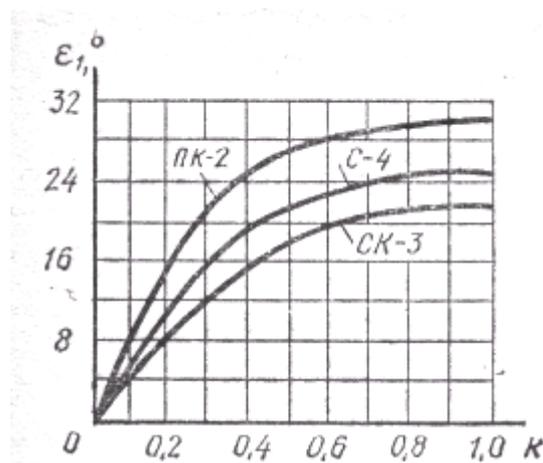


Figura 2.17 Variación del ángulo  $\varepsilon_1$  para los ventiladores de máquinas agrícolas, en dependencia de los valores del indicador (k).

**El ancho de los ventiladores** se toma igual que el ancho del tamiz, es decir.

$$B_B = B_p$$

(60)

La altura de la escotilla de salida se determina como:

$$h = \frac{Q}{B_B u_2}$$

(61)

En este caso, es necesario satisfacer la magnitud (h) con la longitud del tamiz para que la corriente de aire barra la superficie de este en toda su longitud.

La potencia necesaria para poner en movimiento el ventilador será:

$$N = \frac{QH_t}{\eta_M}$$

(62)

donde:

$\eta_M$  – coeficiente de trabajo útil o eficiencia de la transmisión, (0,9 - 0,98).

## **2.10 - Cálculo de las instalaciones neumáticas y transportadoras.**

Usar una corriente de aire para transportar un material sin analizar su capacidad energética posee grandes ventajas con respecto al empleo de otros métodos y, sobre todo, por la simplicidad de la construcción.

La corriente de aire creada por el ventilador se mueve por un conducto y puede arrastrar a los materiales que se interpongan a ella, pudiendo tener diferentes formas estos conductos.

Durante el cálculo de los conductos de aire se determinan las pérdidas de presión por fricción y por las resistencias locales y, además, por la presencia en el flujo del material a transportar.

Las pérdidas por fricción en los conductos cilíndricos se determinan como:

$$h_{fp} = \lambda \frac{l}{d} * \frac{\gamma_B u^2}{2}$$

(63)

donde:

l y d – longitud y diámetro del conducto; [m]

$\gamma_B$  – densidad del aire; [kg/m<sup>3</sup>]

u – velocidad de la corriente a la salida del conducto; m/s

$\lambda$  – coeficiente que caracteriza la fricción del aire en las paredes del conducto, frecuentemente tomado como (0,14 - 0,23).

Para determinar el coeficiente ( $\lambda$ ) existen diferentes ecuaciones, la más sencilla es la siguiente:

$$\lambda = 0.0125 + \frac{0.0011}{d}$$

En el caso en que la sección transversal del conducto no sea circular, y posea otra forma, en los cálculos se toma el diámetro equivalente ( $d_\varepsilon$ ), que se determina a partir de la condición de que, la relación entre el perímetro (P) contra el área de la sección transversal (F) de un conducto virtualmente circular y el conducto real, de cualquier forma son iguales entre sí. Ejemplo, para un conducto rectangular con lados (a) y (b) esto se representa como:

$$\frac{P}{F} = \frac{2(a+b)}{ab} = \frac{4\pi d_\varepsilon}{\pi d_\varepsilon^2}, \quad \text{donde} \quad d_\varepsilon = \frac{2ab}{a+b}$$

(64)

**Las pérdidas por resistencias locales** (ruedas, escotillas, tamices y cribas, variaciones de sección transversal, ensanchamientos o estrechamientos, etc) se calculan como:

$$h_{MC} = \varphi \frac{\gamma_B u^2}{2} \quad (65)$$

donde:

$\varphi$  - coeficiente de resistencia local que depende de la relación entre superficies cuando cambia la sección de la canal, el ángulo de giro de la canal o conducto, el ángulo de inclinación de la escotilla, tipo y construcción de la instalación que conduce a pérdidas locales, etc.

La suma de pérdidas determinadas por las ecuaciones (63) y (65), permite obtener la pérdida total de presión ( $h_B$ ) para el aire limpio.

**Las pérdidas por la presencia de material a transportar en la corriente de aire** se pueden calcular como:

$$h_{TM} = h_B (1 + K\mu_{CM})$$

(66)

donde:

$\mu_{CM}$  - concentración de la mezcla.

k - coeficiente que depende de las propiedades del material a transportar, de la velocidad de la corriente de aire y de otros factores.

Para una velocidad de la corriente de ( $v = 15$  m/s), el coeficiente ( $k = 0,58$ ).

Para ( $v = 20$  m/s) ( $k = 0,40$ ) y para ( $v = 25$  m/s) ( $k = 0,32$ ).

**La velocidad de la corriente de aire** se selecciona a partir de las velocidades críticas ( $u_{KP}$ ) del material a transportar.

$$u = \alpha u_{KP}$$

(67)

donde:

$\alpha$  - coeficiente que determina la concentración de la mezcla y propiedades del material.

Para el trigo, por ejemplo ( $\alpha = 1,25 - 1,5$ ), para los tallos ( $\alpha = 1,5 - 2,5$ ).

El cálculo de la instalación transportadora neumática se realiza en la siguiente secuencia: de acuerdo a la productividad dada y tomando una concentración definida para la mezcla, se halla el gasto de aire necesario, luego se determina la velocidad de la corriente de aire y la sección transversal de los conductos, se calculan las pérdidas de presión en la red y sumándolas todas con la presión dinámica, se determina la presión total.

De acuerdo al gasto de aire y a la presión teórica total, se selecciona el ventilador necesario y se calcula la potencia necesaria del motor.

### **2.11 Trabajo conjunto de tamiz con la corriente de aire.**

El trabajo conjunto del tamiz con la corriente de aire es más recomendable adoptarlo cuando es necesario separar montones de paja. En este caso, la destinación principal de la criba consiste en retener y distribuir de manera uniforme el material por su superficie, de manera que la corriente de aire pueda actuar con mayor facilidad en la separación del material.

Un ejemplo de esta combinación se encuentra en los tamices o cribas de las máquinas cosechadoras compuestas por cribas que son sopladas con una corriente de aire.

**El tamiz:** está destinado a la separación de granos y a la separación de aproximadamente la mitad de los rastrojos, así como para extraer las impurezas de la máquina.

Si después de la separación de la mezcla la concentración de granos limpios es de 75 – 80% después de su procesamiento con tamices, la misma se eleva al 90%.

En el trabajo del tamiz es necesario asegurar un régimen que garantice a la pila de material adquirir una movilidad. En relación con esto, es necesario reducir la capacidad de adhesión de las partículas, aumentar la fluidez de la pila de material y asegurar el mayor cernido del grano.

El uso de la corriente de aire con esta finalidad juega un importante papel, debido a que, esta estira el material separándolo, rompe el enlace entre las partículas y, a la vez, extrae de la máquina todos los residuos de cosecha y materias extrañas.

La necesidad de contar con una efectiva corriente de aire exige instalar ventiladores capaces de crearlas.

Cuando se usa una corriente de aire inclinada que actúa sobre el tamiz de abajo hacia arriba, varía el esfuerzo para el movimiento del grano por la criba y, a la vez, varía el esfuerzo necesario para que las partículas ligeras pasen a través de los orificios del tamiz. Por ello, la acción de la corriente de aire reduce la fuerza de adherencia del material en la superficie del tamiz y, por consiguiente, se reduce la fuerza de fricción.

Sobre esta base, en los cálculos para determinar las condiciones de movimiento del material por el plano oscilante del tamiz, se usan diferentes valores para el coeficiente de fricción ( $\varphi$ ). Si la corriente de aire actúa en sentido del movimiento de las partículas ( $\varphi = 15 - 20$ ), si actúa en sentido contrario ( $\varphi = 40 - 45$ ).

Esto posibilita obtener diferentes velocidades de movimiento del material por la superficie del tamiz.

Las partículas ligeras, que poseen una menor velocidad de flotación que la velocidad del aire que atraviesa el tamiz, conducen a la corriente o flujo de aire. Por consiguiente, el orificio del tamiz será atravesado solo por aquellas partículas ligeras que posean velocidades de caída superiores a la de la corriente de aire.

Para seleccionar la velocidad de la corriente de aire ( $u$ ), es necesario considerar el coeficiente aerodinámico ( $K_p$ ).

**El coeficiente aerodinámico (Kp):** es la relación entre la velocidad (u) de la corriente de aire contra el tamiz, dividido por la velocidad de la corriente libre de aire por no existir el tamiz.

$$K_p = \frac{u}{u_1}$$

(68)

Los experimentos indican, que para los tamices metálicos (Kp) es proporcional a su área efectiva ( $\mu$ ), es decir: ( $Kp = \mu$ ) y para los tamices de tela ( $- Kp = \mu^2$ )

Considerando el valor de ( $\mu$ ) para los tamices de un tipo dado, el coeficiente aerodinámico ( $Kp = 0,4 - 0,5$ ).

**La productividad del tamiz** [kg/s] se determina por la ecuación:

$$Q_t = \gamma_1 h_1 B_1 V_{cp}$$

(69)

donde:

$\gamma_1$  – densidad del material que se encuentra sobre el tamiz, es equivalente a 50 – 60; [kg/m<sup>2</sup>]

$h_1$  – espesor de la capa de material; [m]

$B_1$  – ancho de la capa de material; [m]

$V_{cp}$  – velocidad media del movimiento por el tamiz, determinado en función de la dirección de la corriente de aire en m/s.

**El ancho del tamiz** frecuentemente es proporcional al ancho de la zaranda, es decir:

$$B_1 = B_c$$

(70)

**El largo del tamiz** se determina de acuerdo a la magnitud de ( $B_1$ ) y al área total ( $F_{\Pi}$ ) de este.

$$l_1 = \frac{F_{\Pi}}{B_1}$$

(71)

El área total del tamiz puede ser calculada de acuerdo a su productividad ( $Q_t$ ) y a su carga específica permisible ( $q_0$ )

$$F_{\Pi} = \frac{Q_t}{q_0}$$

(72)

donde:

$q_0$  – carga específica sobre el tipo de tamiz; [kg/s\*m<sup>2</sup>)

Para los tamices de tela con cavidades (20 x 20)mm, ( $q_0 = 0.70 - 0,85$ ), si sus cavidades son de (32 x 32) mm , ( $q_0 = 0,85 - 1,40$ ) , para los de acero laminado con orificios de diámetro 16 – 20, ( $q_0 = 0,3 - 0,4$ ).

## 2.12 Trabajo de los tambores trilladores.

### 2.12.1 Teoría de la trilla

Al girar el cilindro trillador, el material poco a poco se mueve friccionándose en pequeñas capas. Los orificios que se encuentran bajo este se llenan de granos cortos que, posteriormente pasan a la cubierta o forro del mismo.

Contra la superficie de trabajo del cilindro actúan las partículas de la capa inferior y en este caso pueden ocurrir dos situaciones, el grano ha coincidido con un orificio, o el grano no ha coincidido con ningún orificio y se encuentra en algún punto intermedio entre dos orificios.

Analicemos un grano único que no ha coincidido con un orificio y determinemos los esfuerzos necesarios para que este pueda estar en reposo relativo.

Al girar el cilindro de radio (R) un ángulo  $\alpha = \omega t$ . Figura 2.18. El grano de masa (m) se traslada desde la posición ( $\mu_0$ ) a la posición ( $\mu$ ) y sobre este actúan las fuerzas siguientes: fuerzas de gravedad (mg), reacción (N), fuerza de fricción ( $F = N \tan \varphi$ ), donde ( $\varphi$ ) es el ángulo de fricción y la fuerza centrífuga ( $m\omega^2 r$ ).

El grano se encontrará en reposo relativo, si la suma de la proyección de todas esas fuerzas sobre el eje de coordenadas tomado como referencia es cero, es decir:

$$m\omega^2 R - N + mg \cos \omega t = 0$$

$$N \tan \varphi - mg \sin \omega t = 0$$

Colocando en la segunda ecuación el valor de (N) calculado por la primera ecuación y representado el indicador del régimen cinemático como  $K = \frac{\omega r^2}{g}$  ,

después de varias transformaciones, se halla el esfuerzo relativo de reposo del grano sobre la superficie del cilindro que gira.

$$N = mg(K + \cos \omega t) \geq 0$$

(73)

$$K \sin \varphi \geq \sin(\omega t - \varphi)$$

(74)

Debido a que en la ecuación (74) se tiene solo una variable (t) que se encuentra en la parte derecha, entonces, al transcurrir un tiempo determinado ( $t \geq t_1$ ), comienza el deslizamiento del grano por la superficie del cilindro. Por consiguiente, se puede determinar la magnitud ( $\alpha_1 = \omega t_1$ ) para la cual el grano no cae en el orificio correspondiente.

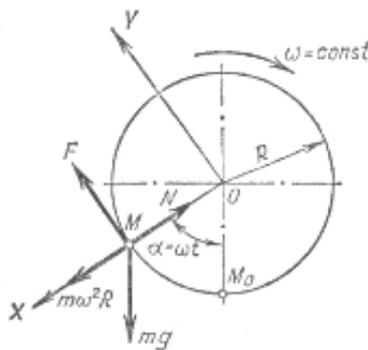


Figura 2.18 Para determinar la condición de reposo relativo del grano

Para analizar el caso anterior, pero con el grano coincidiendo con el orificio y por tanto, girando junto al cilindro un ángulo ( $\alpha = \omega t$ ) figura 2.19, ubicamos el inicio de las coordenadas en el punto (M) del eje (x) por la normal contra la superficie del orificio, y en el eje (y) tangente a esa superficie. El radio (OM) con la normal contra el orificio en el punto (M) forma el ángulo ( $\lambda$ )

Partiendo de las fuerzas que actúan sobre el grano, ( $mg$ ), ( $F$ ), ( $N$ ), y ( $mw^2R$ ), se escribe la ecuación de equilibrio.

$$mw^2R \cos \lambda + mg \cos(\alpha - \lambda) - N = 0$$

$$N \tan \varphi + mw^2R \sin \lambda - mg \sin(\alpha - \lambda) = 0$$

Determinando ( $N$ ) por la primera ecuación y colocando su valor en la segunda y, además, representando la relación  $K = \frac{w^2 R}{g}$ , realizamos las transformaciones correspondientes y hallamos la condición de reposo relativo del grano que ha caído en el orificio.

$$N = mg[k \cos \lambda + \cos(\alpha - \lambda)] \geq 0$$

(75)

$$K \text{sen}(\lambda - \varphi) \geq \text{sen}(\alpha - \lambda - \varphi)$$

(76)

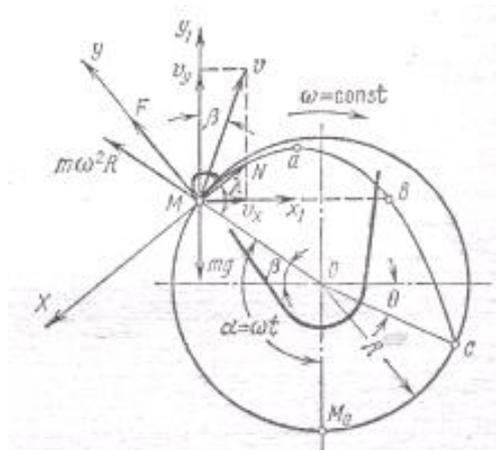


Figura 2.19 Para el grano que cae en el orificio y se detiene en el forro del trillador.

En la medida que aumenta el ángulo ( $\alpha$ ) la parte derecha de la ecuación comienza a crecer y en un momento determinado de tiempo adquiere la magnitud de la parte izquierda, lo que determina el rompimiento del equilibrio de fuerza y el comienzo del movimiento del grano por el orificio.

Si se representa  $\alpha = \frac{\pi}{2} + \beta$  y se considera el ángulo de giro del cilindro, entonces, la condición (76) del reposo relativo del grano será.

$$K \text{sen}(\lambda + \varphi) \geq \cos[\beta - (\lambda + \varphi)]$$

(77)

Después que el grano abandona el orificio, su posterior movimiento se determina por la reacción (N).

Si  $N = 0$ , entonces el grano se mueve libremente como un cuerpo en rotación con velocidad ( $v = \omega r$ ) bajo un ángulo  $\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right)$

Si ocurre que  $N > 0$ , entonces el grano está retenido en la superficie del orificio del cilindro y se desplaza por este hasta que deje de moverse libremente.

Nos interesa fundamentalmente el primer caso, para representar de manera correcta la posición del orificio o ranura. El inicio del eje de coordenadas con ejes  $X_1$  y  $Y_1$ , se ubica en el punto (M). En un momento inicial de libre

movimiento, el grano posee los siguientes componentes horizontales y verticales de velocidad (V)

$$V_x = wr \operatorname{sen} \beta$$

$$V_y = wr \cos \beta$$

La componente horizontal de la velocidad permanece constante y la componente vertical disminuye con el movimiento.

$$V_y = wr \cos \beta - gt$$

La traslación del grano se determina por las coordenadas:

$$X = (wr \operatorname{sen} \beta)t$$

$$Y = (wr \cos \beta)t - \frac{gt^2}{2}$$

(78)

Estas ecuaciones representan la trayectoria de movimiento del grano. Se puede hallar ( $X_a$ ,  $X_b$ ) y de acuerdo a ellas deducir la posición del orificio para que acepte todos los granos caídos en él.

Para  $\beta = \frac{\pi}{2}$  la condición (77) adquirirá la forma:

$$K \operatorname{sen}(\lambda - \varphi) \geq \operatorname{sen}(\lambda + \varphi)$$

$$K \geq 1$$

Es decir:

En este caso, es prácticamente imposible la caída del grano en el orificio y por ello, la salida del grano desde el orificio será posible bajo la condición  $K \leq 1$ .

La zona normal de abandono se caracteriza por su ángulo inicial y final ( $\beta_{\text{I}}$  y  $\beta_{\text{II}}$ ) respectivamente, correspondiente a  $K=0.67$  para  $\theta=0^\circ$ ,  $K = 0.58$  para  $\theta=15^\circ$ ,  $K=0.49$  para  $\theta=30^\circ$ .

$$\text{Para } K=0.67 \quad \beta_{\text{I}} = 73^\circ \text{ y } \beta_{\text{II}} = 42^\circ$$

$$\text{Para } K=0.58 \quad \beta_{\text{I}} = 69^\circ \text{ y } \beta_{\text{II}} = 36^\circ$$

$$\text{Para } K=0.49 \quad \beta_{\text{I}} = 65^\circ \text{ y } \beta_{\text{II}} = 29^\circ$$

### 2.12.2 Fuerza axial de movimiento del grano en el cilindro.

La velocidad de traslación del grano a lo largo del eje del cilindro trillador depende de la entrega de material, del régimen cinemático, del ángulo de inclinación del cilindro y del tipo de material a procesar.

Para determinarla existen varias ecuaciones. La más sencilla de allá es la ecuación empírica obtenida para Pablov en trilladoras con orificios de (5 a 8.5) mm.

$$V_{cp} = 1.17 \cdot 10^{-4} Q^x (Bn^y + n\psi^z)$$

(79)

donde:

Q – Entrega de granos al cilindro; [kg/h]

n – frecuencia de giro del cilindro, [rpm]

$\psi$  -ángulo de inclinación del eje del cilindro, [grados]

B, x, y, z – coeficientes experimentales

Para el trigo y la avena por ejemplos: B = 18.2 – 20.4; x = 0.18 – 0.20;

y = 0.30 – 0.41; z = 1.32 – 1.46

### 2.12.3 Dimensiones principales y productividad de las trilladoras.

Para analizar el tema se introducen las siguientes denominaciones:

$\delta$ - masa del material captado por un orificio; [Kg].

d – diámetro del orificio; [m]

$\gamma$ - densidad del material; [kg/m<sup>2</sup>]

Q – entrega del material; [kg/s]

Q<sub>K</sub>- Cantidad de granos cortos; [kg/s]

b<sub>K</sub>- Porcentaje de granos cortos.

z – cantidad de orificios.

m – magnitud de los espacios entre orificios; [m]

$\phi$ - superficie de los orificios; [m<sup>2</sup>]

R – radio del cilindro; [m]

L – longitud del cilindro; [m]

Conociendo el proceso de impurezas cortas en el material inicial se calcula (q<sub>K</sub>)

$$q_K = \frac{b\%}{100} q$$

La masa del material captada por un orificio será:

$$\delta = \alpha d^2 \gamma$$

donde:

$\alpha$ - Coeficiente que tiene en cuenta la magnitud de llenado del orificio.

Para el paso de los granos cortos en un segundo se necesitan:

$$Z_p = \frac{q_K}{\delta} = \frac{q_K}{\alpha d^2 \gamma}$$

La cantidad efectiva de orificios será:

$$Z_\Delta = \frac{Z_p}{\mu} = \frac{q_K}{\alpha \mu d^2 \gamma}$$

donde:

$\mu$ - Coeficiente que considera el uso efectivo del orificio

Considerando que para el área superficial cilíndrica la superficie de un agujero

es  $f_0 = (m+d)^2 \frac{\sqrt{3}}{2}$  se calcula la superficie necesaria como:

$$\phi = f_0 Z_\Delta = \frac{\sqrt{3} q_K (m+d)^2}{2 \mu \alpha \gamma d^2}$$

De otra parte, el área ( $\phi$ ) puede ser representada a través de las dimensiones del cilindro como:

$$\phi = Lu = LwR = L \sqrt{\frac{w^2 R R_g}{g}} = L \sqrt{KgR}$$

donde:

K – indicador del régimen cinemática del trillador

u – velocidad angular del cilindro; [m/s]

Igualando las partes derechas de las ecuaciones anteriores y analizando determinadas transformaciones tenemos:

$$L \sqrt{R} = \frac{\sqrt{3} q_K (m+d)^2}{2c \gamma d^2 \sqrt{kg}}$$

donde:

C=  $\mu$  L - Coeficiente igual 0.01 – 0.02

Si se tiene el radio, se determina la longitud del cilindro trillador.

La productividad del tambor trillador se determina como:

$$Q = 2\pi \varepsilon q_0 RL$$

donde:

$q_0$  - carga específica sobre unidad de área del orificio; [kg/(s.m<sup>2</sup>)]

$\varepsilon$  - coeficiente experimental que considera el tipo de grano a procesar.

Para el trigo  $q_0 = 0.16 - 0.18$  si se trata de separar rastrojos largos con un contenido del 7% y  $q_0 = 0.15 - 0.17$  para separar rastrojos cortos con una concentración de hasta 15%.

El coeficiente  $\varepsilon$  para el trigo es igual a 1.0, para la cebada 0.65-0.8

## CAPÍTULO III. CAPÍTULO III.

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN Y SU ANÁLISIS.

Teniendo en cuenta los aspectos teóricos tratados en el capítulo II, el diseño de la trilladora se hizo a partir de las siguientes consideraciones.

- El ángulo de inclinación del tamiz es de  $15^{\circ}$  para que no haya deslizamiento del material cuando la máquina esté detenida.
- La malla del tamiz debe ser de fácil sustitución para buscar versatilidad y poder limpiar diferentes tipos de granos.
- No se debe permitir la entrada abrupta de grandes cantidades de material a la canal o conducto de alimentación para prevenir atoros del equipo.

#### 3.1 Partes fundamentales de la máquina de trillar.

En la figura 3.1 se muestran las partes fundamentales de la máquina trilladora que se diseña.

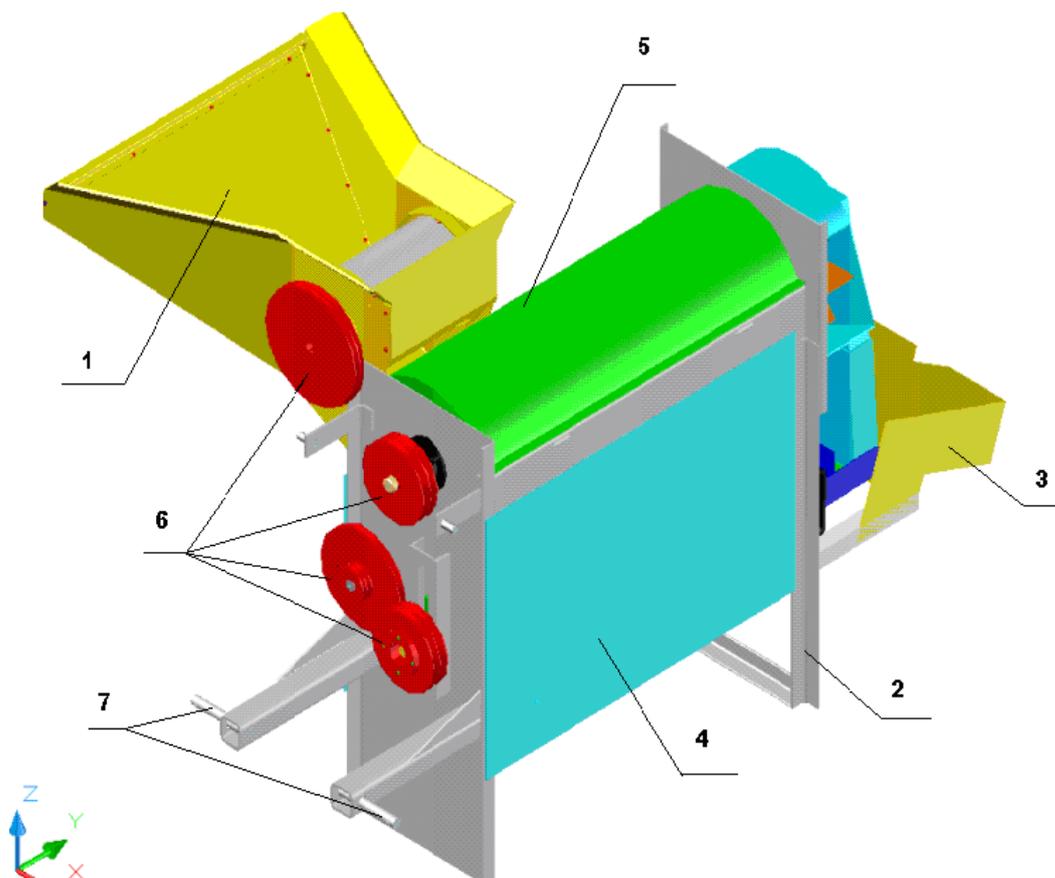


Figura 3.1 Partes componentes fundamentales de la máquina trilladora.

1. Tolva de alimentación. 2. Bastidor o chasis. 3. Canales para evacuar y envasar los granos limpios. 4. Cuerpo. 5. Tapa del cilindro de trilla. 6. Poleas de transmisión. 7. Sistema de enganche.

Como se observa en la figura, la misma consta de una tolva de alimentación (1) y de una serie de partes o mecanismos que toman movimiento a través de transmisiones por poleas y correas montadas todas sobre un chasis o bastidor común (2). Es una máquina estacionaria, pero puede ser trasladada de un lugar a otro, en dependencia de las necesidades, para lo que dispone de una estructura de enganche al tractor o máquina automotriz destinada a su traslado (7).

### 3.2 Principio de funcionamiento.

La misma trabaja del siguiente modo:

Como se observa en la figura 3.2, la máquina recibe movimiento desde la toma de fuerza del tractor o desde un motor eléctrico a través de la doble polea (1), desde donde el movimiento se trasmite a la polea (2) que se encarga de poner en funcionamiento el tambor trillador mediante una transmisión por correa.

La polea del tambor trillador también es doble, y desde la más pequeña se trasmite el movimiento al eje de la zaranda a través de la polea (3), la que a su vez pone en movimiento al tambor alimentador (5) ubicado dentro de la tolva de alimentación (6).

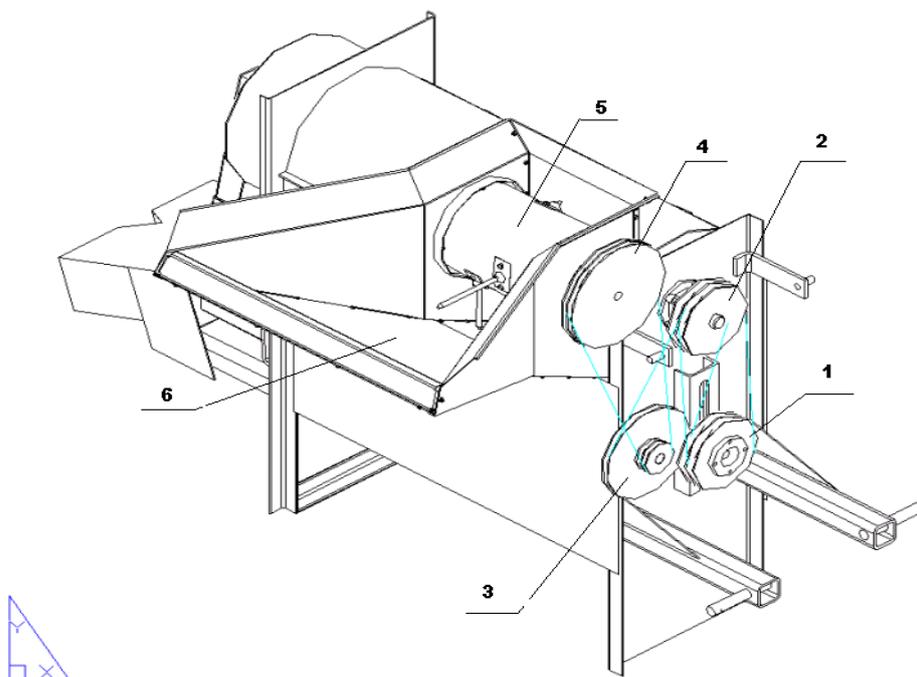


Figura 3.2 Principio de funcionamiento de la trilladora.

La polea (1) en este caso es la polea motriz, y se encarga de transmitir el movimiento a todas las partes móviles de la máquina.

### 3.3 Detalles de las partes fundamentales de la máquina.

#### 3.3.1 Detalles del bastidor o chasis.

En la figura 3.3 se representan detalles del chasis o bastidor de la máquina.

Como se observa, todos los elementos constructivos de la misma se soportan sobre una armazón de vigas, angulares y planchas de acero debidamente soldadas, las que conforman una estructura rígida capaz de sustentar y permitir el trabajo sincronizado de todos sus elementos y partes.

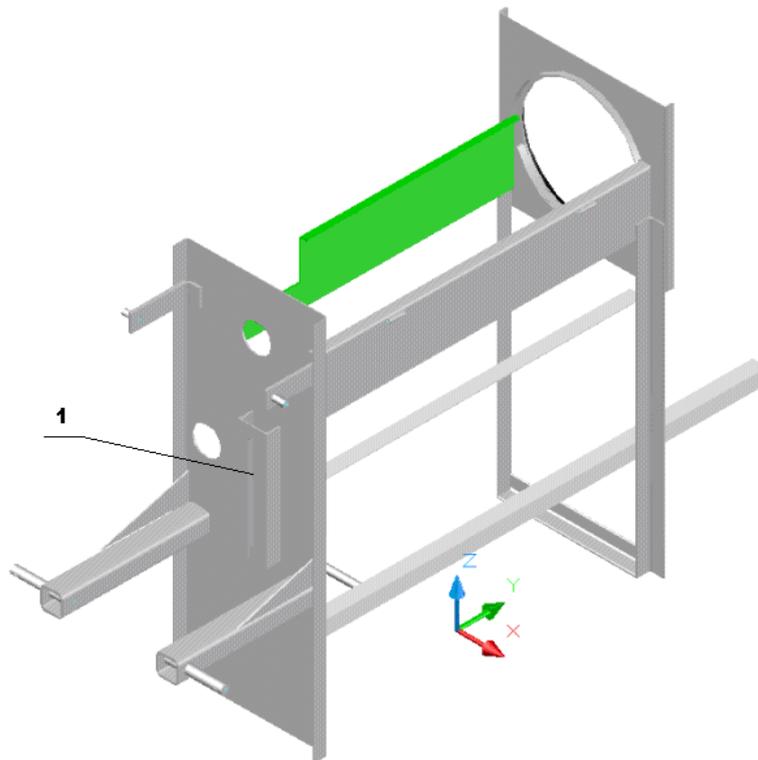


Figura 3.3 Detalle del chasis o bastidor de la máquina trilladora.

Los brazos que sirven de soporte a los pasadores de enganche, posición (7) figura 3.1, están reforzados con planchas de acero en forma de cuña debidamente soldadas, las que permiten dar la rigidez necesaria a la estructura.

La pieza que sostiene al buje de la polea por donde entra el movimiento a la máquina, posición (1), figura 3.3, es una viga con perfil en U acanalada; lo que permite montar y desmontar las correas en caso de ser necesario pero además, permite usar diferentes tipos de correas dentro de determinados

rangos, en dependencia de las necesidades, pues posibilita subir o bajar la polea junto al buje según sea el caso.

En esencia, la polea se monta sobre un buje de bronce roscado en su parte posterior por ambos lados, lo que permite colocarlo y fijarlo en la posición adecuada dentro de la canal de regulación de la pieza que lo soporta. Por su interior gira el eje que soporta a la polea, la que se fija a este mediante una unión de chavetas.

### 3.3.2 Detalles de la tolva de alimentación.

En la figura 3.4 se muestra la tolva de alimentación, como se observa, está construida de chapas de acero de poco espesor en forma de embudo de sección rectangular, sobre la que se monta el cilindro de alimentación (5), que recibe movimiento desde la polea (4), figura 3.2.

La particularidad fundamental de este cilindro radica, en que los brazos o dedos (a) que posee según figura 3.4, y que sirven para impulsar y guiar la entrada del material a trillar hasta el tambor trillador son móviles y se pueden regular.

De esta forma, si la entrada de material es demasiado grande, los dedos oscilarán o girarán en el plano vertical por encima de la masa, no arrastran material hasta el tambor y, por tanto, la máquina no se atora, pero además, en el interior del cilindro existe un mecanismo de levas que permite que estos se oculten hacia el interior del tambor en la medida en que descenden, por lo que nunca rozan la parte inferior de la tolva de alimentación.

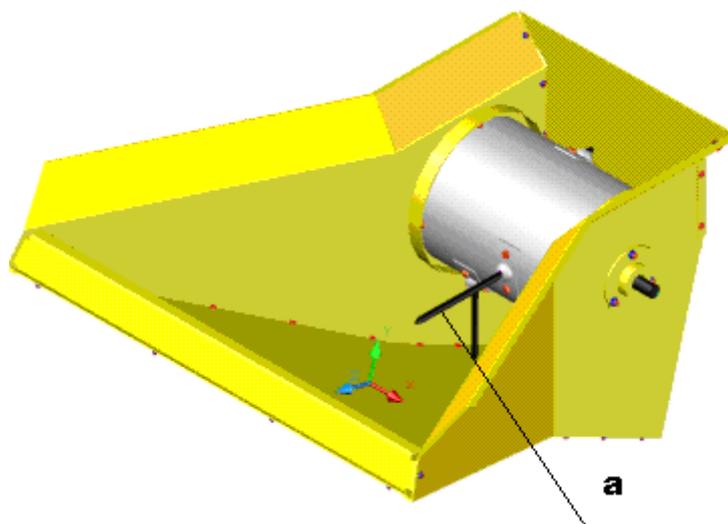


Figura 3.4 Detalles de la tolva de alimentación.

La magnitud del movimiento hacia el interior del cilindro (5) se regula con ayuda de la palanca (p), ver figura 3.5.

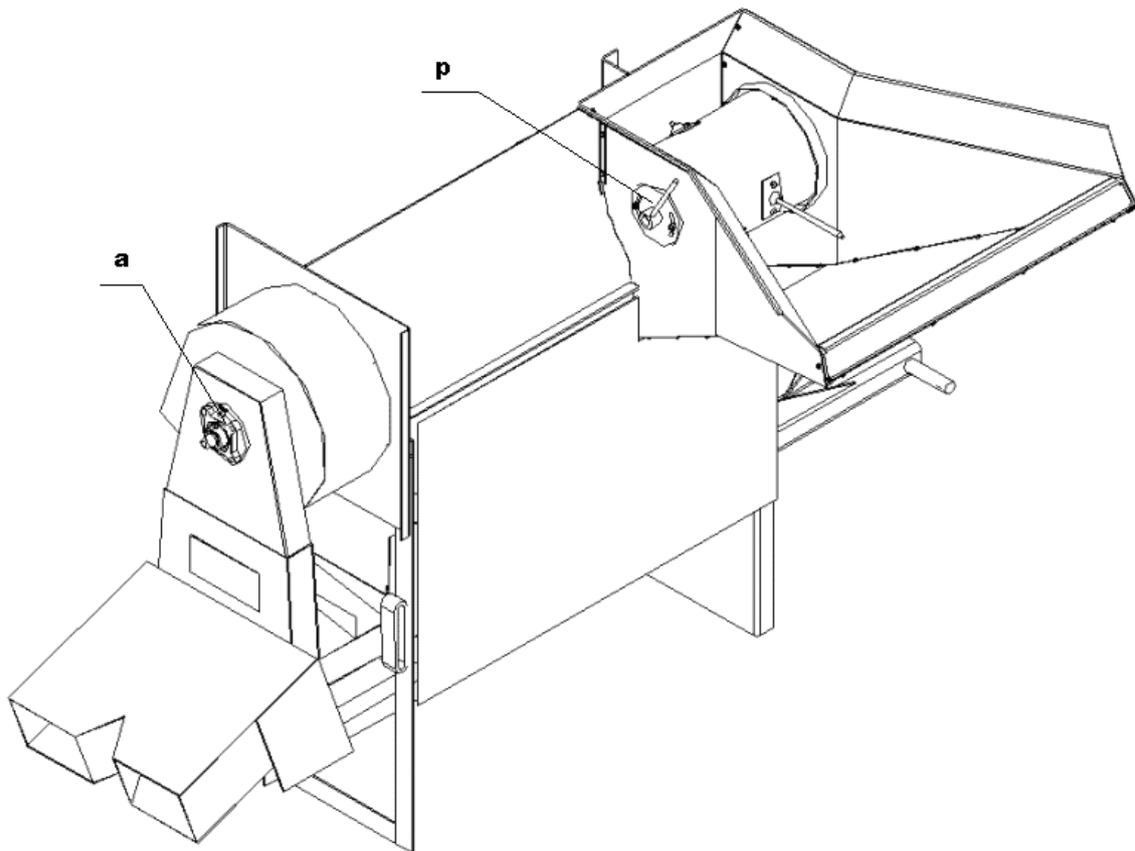


Figura 3.5 Detalle del mecanismo de regulación de los dedos del tambor de alimentación.

### 3.3.3 Detalles del tambor de trilla.

En la figura 3.6 se observan detalles del tambor trillador.

El mismo está formado por un cilindro hueco tapado por sus extremos, que se monta sobre el eje (e), en cuyos extremos se colocan los rodamientos que se fijan al chasis como el que se representa en la figura 3.5, posición (a).

En la superficie del tambor se sueldan a determinada distancia unas piezas en forma triangular que se distribuyen por su superficie semejando una rosca (b), las que permiten que, en la medida que el tambor gire el material vaya siendo arrastrado contra el tamiz desde la tolva de entrada hasta la canal de evacuación de los residuos, produciéndose así la trilla.

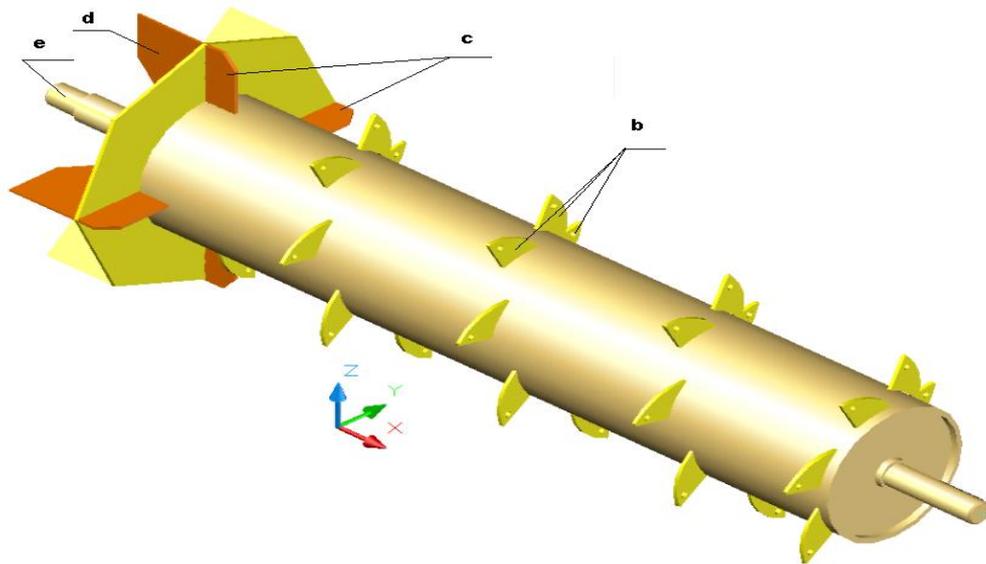


Figura 3.6 Detalles del tambor trillador.

Al final del tambor se sueldan las paletas (c), que sirven para extraer los residuos de cosecha (plantas, espigas, cajetas, etc) del interior de la máquina y al final de este, y separadas por un tabique se sueldan las paletas (d) que funcionan como aspas de ventilador para impulsar aire hasta la zaranda, con lo que queda aventado el grano que se acaba de trillar.

### 3.4 Funcionamiento de la máquina.

En esencia este proceso se realiza del siguiente modo. Figura 3.7.

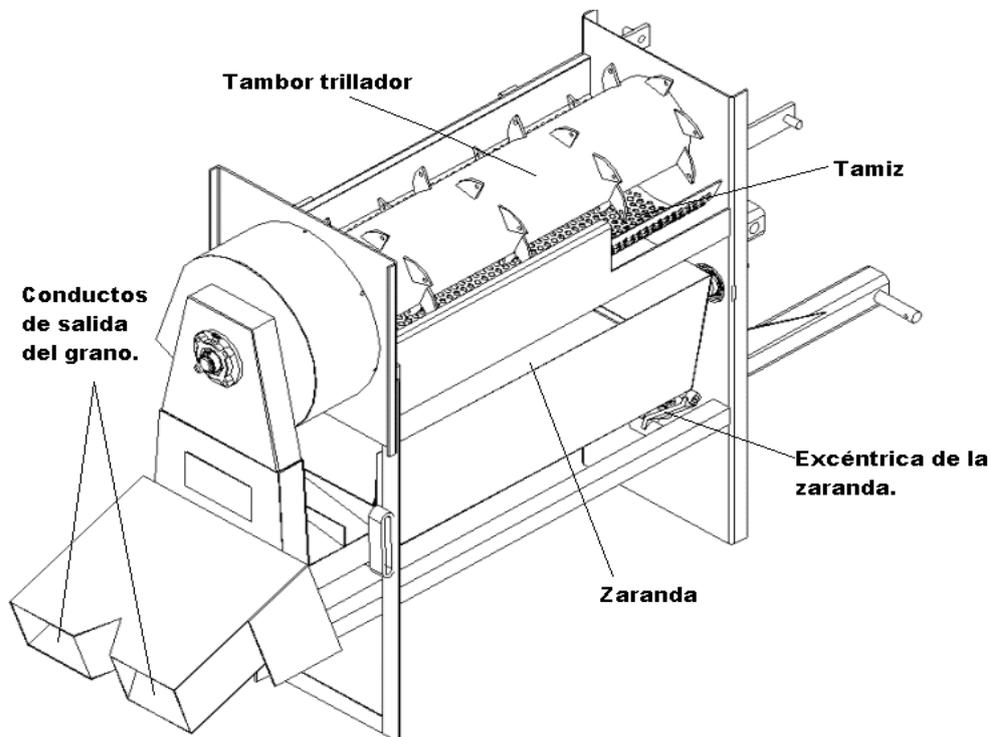


Figura 3. Proceso tecnológico de trabajo de la máquina trilladora.

Una vez que el material ha entrado a la máquina por la tolva de alimentación, el mismo es arrastrado por el tambor trillador haciéndolo friccionar contra el tamiz para que se desprendan los granos de la cultura que se procesa. Como se explicó en el capítulo II, si ha sido debidamente seleccionado el perfil y las dimensiones de los orificios de este, los granos con determinadas características pasarán a través de los orificios que este posee y caen a la zaranda dotada de movimiento alternativo de vaivén con ayuda de la leva o excéntrica que se representa en la figura. De este modo, los granos acompañados de impurezas de menores dimensiones se mueven alternativamente por sobre la criba de la zaranda y este movimiento es el que hace que las impurezas pequeñas sean separadas de la masa de material que se procesa, mientras que, los granos limpios pasan a los conductos de salida señalados en la figura, donde pueden ser recogidos directamente en sacos, o donde se pueden apilar para posteriormente ser secados o sometidos a otros procesos de postcosecha.

### 3.5 Otros detalles y vistas de la máquina.

En las figuras [3.8; 3.9; 3.10; 3.11; 3.12 y 3.13], se observan otros detalles de la máquina.

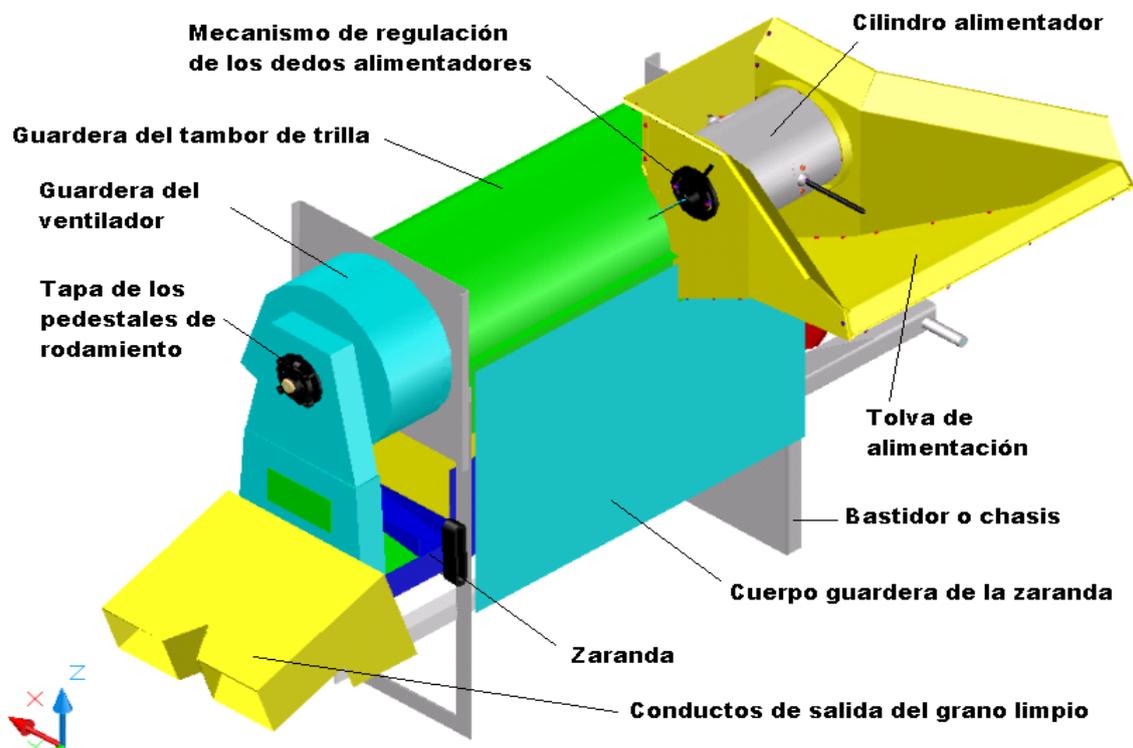


Figura 3.8 Detalles de las partes componentes de la máquina vista en 3D desde su parte posterior.

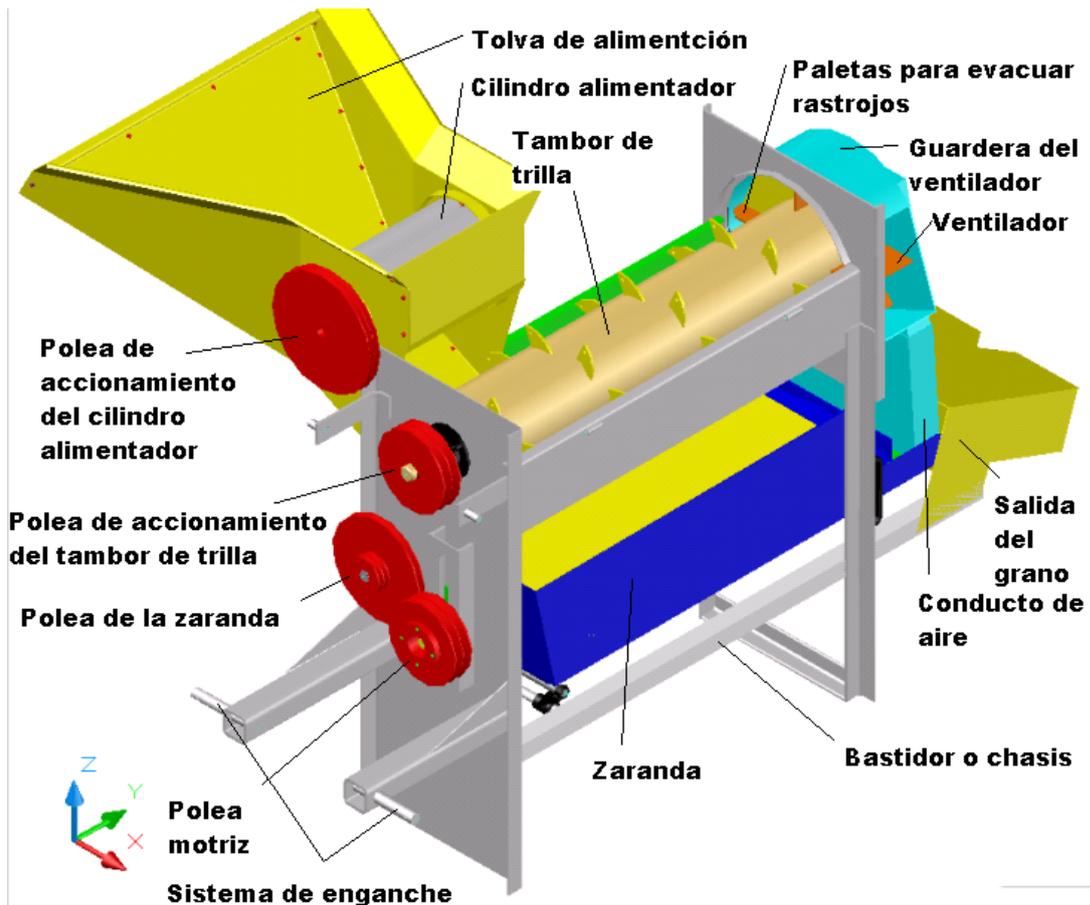


Figura 3.9 Detalles de las partes componentes de la máquina vista en 3D desde su parte delantera.

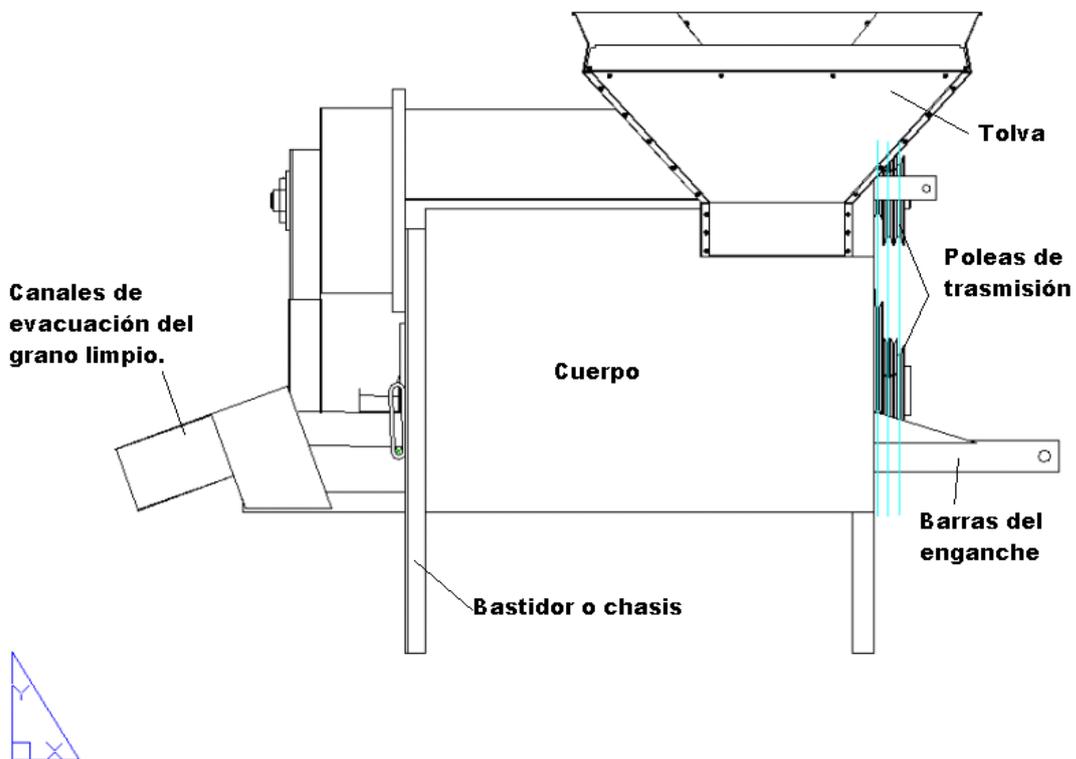


Figura 3.10 Vista frontal de la máquina de trillar.

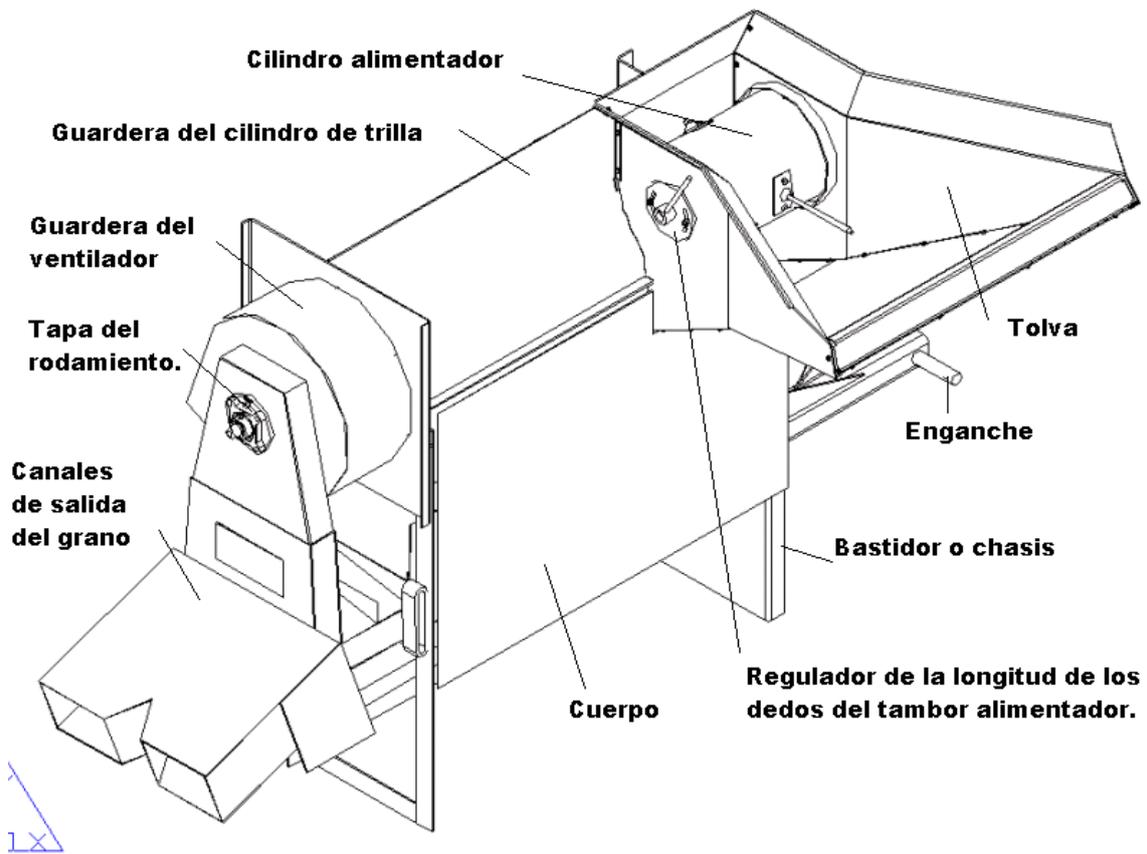


Figura 3.11 Vista isométrica de la máquina de trillar.

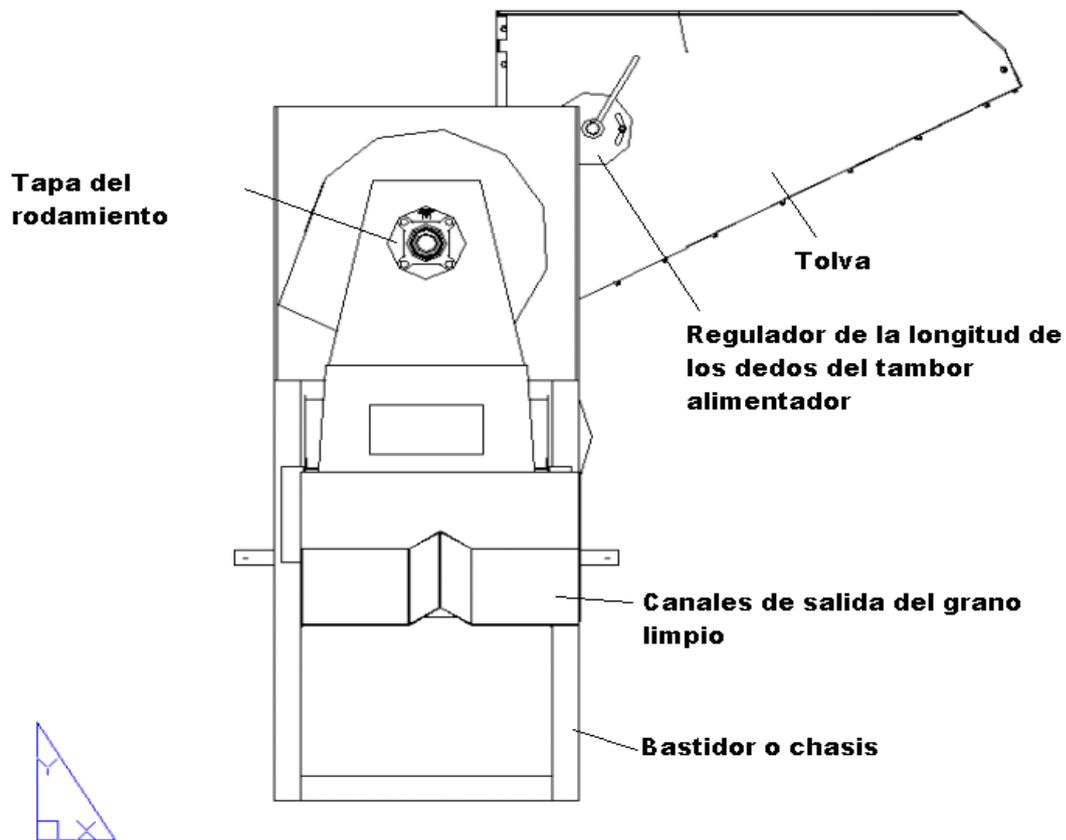


Figura 3.12 Vista lateral de la máquina de trillar.

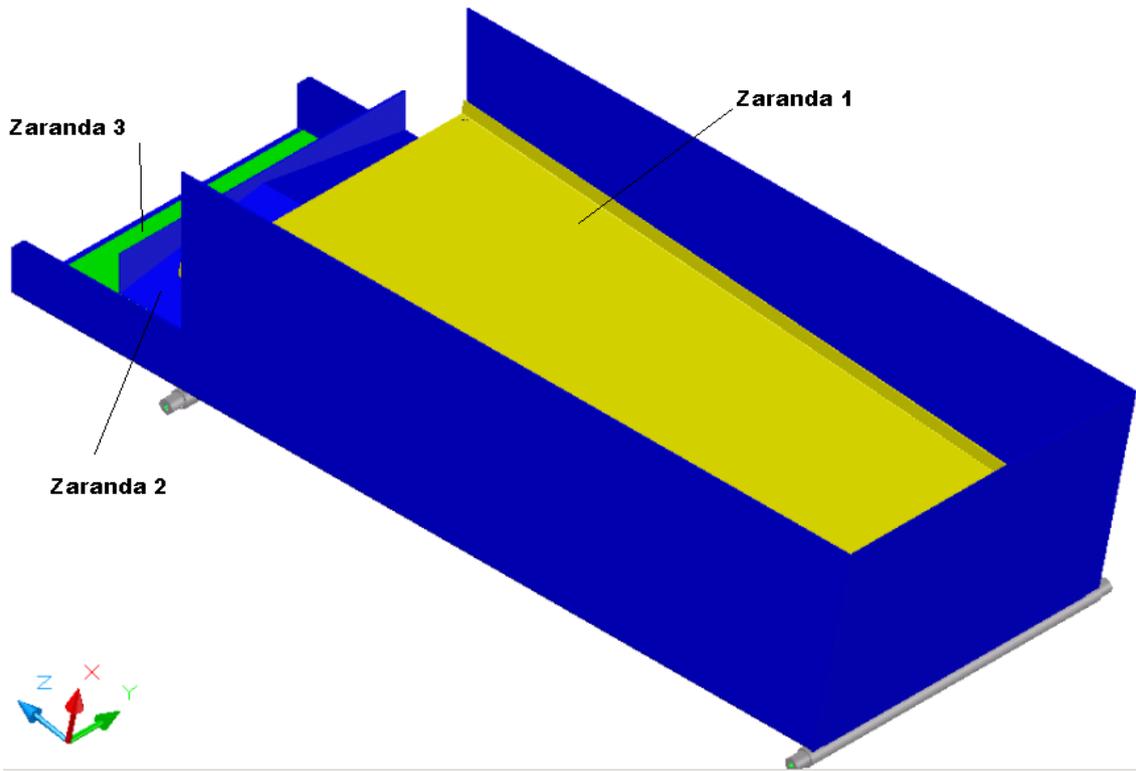


Figura 3.13 Detalles de la zaranda.

## **CONCLUSIONES**

La realización del trabajo permitió arribar a las siguientes conclusiones:

1. Se obtiene de manera resumida un documento sobre la teoría de la construcción y cálculo de las máquinas trilladoras, que puede ser utilizado por otros investigadores en trabajos similares o de otra naturaleza.
2. Las características constructivas de la máquina responden a las exigencias planteadas por los Pequeños agricultores del país, y son el resultado de una profunda búsqueda y análisis de modelos ya existentes que hacen que el modelo propuesto, no difiera en esencia de los existentes a escala internacional.
3. Por sus características, la máquina puede ser perfectamente construida en Cuba y específicamente en las condiciones y con el equipamiento existente en algunas de las empresas existentes en Cuba.

## Bibliografía

1. Aleksin N. B, Prontuario para la regulación de las máquinas agrícolas. Moscú. Editorial Koloc. 1993. 143p.
2. Anónimo [\threshing-winnowing.htm](#).
3. Anónimo [\trilladora1450.html](#).
4. Anónimo. [\EQP4. htm](#).
5. Anónimo. [\M0035S0V.htm](#).
6. Anónimo. [\show.php.htm](#).
7. Anónimo. [\threshers-1.html](#).
8. Anónimo. Tesis y monografías.htm.
9. Anónimo. Trilladoras+agrícolas.htm.
10. Basilenko. I. F, Combinadas de cereales nacionales y extranjeras. Kiev. Editorial Científico Técnica. 1994. 321p.
11. Castro, R. , Informe Central al V congreso del PCC, 1997.
12. García Pérez Julio. , Delegación Provincial del MINAZ, Villa Clara, Subdelegado de mecanización del MINAZ, Febrero 2000.
13. Gershov A. P, Secadoras de granos. Moscú. Editorial Koloc. 1989. 213p
14. Gil Sierra, J. 1991. Historia de la maquinaria agrícola.IV: El Siglo XX. Máquinas y Tractores, MT. (1991):12:58-58-62 [1]
15. Gómez Rubén R. , Reunión con el departamento de Mecanización Agrícola de la UCLV, en su condición de viceministro de la agricultura, Sala XXXV Aniversario de la UCLV, Febrero 2000.
16. González Torices, J. Y G. Díez Barrio. 1991. Aperos de madera. Junta de Castilla y León, Consejería de Agricultura y Ganadería.
17. Goriashkin B. P, Memorias de trabajo en tres tomos. Moscú. Editorial Koloc. 1997. 557p.
18. Ibanov. I. C, Máquinas Agrícolas. Moscú. Editorial Construcción de Maquinaria. 1990. 275p.
19. International Harvester, General Export Catalog., hacia 1925. Chicago, USA.
20. John Deere. Combine Harvesting. Fundamentals of Machine Operation. Ed. 1973.
21. Karpenko. A. N, Máquinas Agrícolas. Moscú. Editorial Koloc. 1977. 356p
22. Karpenko. A. N, Máquinas Agrícolas. Moscú. Editorial Koloc. 1990. 300p

23. Klenin. H. I, Máquinas Agrícolas. Moscú. Editorial Koloc. 1993. 210p.
24. Komaristov. B. E, Máquinas Agrícolas. Moscú. Editorial Koloc. 1989. 210p
25. Lage, D. , Intervención en el V congreso del Partido comunista de Cuba, para presentar el proyecto de resolución económica, 1997.
26. Letoshnev. M. N, Máquinas Agrícolas. Moscú. Editorial Koloc. 1999. 200p
27. Listopad, G. E. Vibro separación de granos. Moscú. Koloc. 1999. 541 p.
28. Listopad, G. E “Máquinas Agrícolas y de Mejoramiento”. Moscú. Koloc. 1996. 741 p.
29. Ortiz-Cañavate J. Las Máquinas agrícolas y su aplicación. 1ª edición, 1980. Editorial Mundi-Prensa. Madrid.
30. Pustiguin. M. A, Teoría y Cálculo de Máquinas Agrícolas. Moscú. Editorial Científico Técnica. 1999. 345p.
31. Resnik. N. E, Combinadas de cereales. Moscú. Editorial Construcción de Maquinaria. 1998. 311p.
32. Riavov. G. A. Máquinas de Mejoramiento. Moscú. Editorial Construcción de Maquinaria. 1987. 341p.
33. Ruiz M. La Maquinaria Agrícola en el siglo XX. Universidad Politécnica de Madrid.
34. Ruiz-Altisent M. y A. Rodríguez del Rincón. 1995. ‘Mecanización del cultivo extensivo’.
35. Sablikov. M. B. Máquinas Agrícolas. Moscú. Editorial Construcción de Maquinaria. 1988. 341p.
36. Semenov. A. H. Tamices para granos. Moscú. Editorial Construcción de Maquinaria. 1988. 111p.
37. Tersvov. G. H. Cálculo de Máquinas Agrícolas. Moscú. Editorial Construcción de Maquinaria. 1998. 341p.
38. Turbin. B. G. Máquinas Agrícolas. Moscú. Editorial Construcción de Maquinaria. 1997. 391p.