

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LOS
PARÁMETROS DE DISEÑO AGROINDUSTRIALES
DE CEREALES**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

JULIO ALBERTO ARGANDOÑA CONDORI

PROMOCIÓN 1984 – II

LIMA – PERÚ

2014

ÍNDICE

PRÓLOGO	01
I. INTRODUCCIÓN.....	03
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	04
1.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	05
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	06
1.4. JUSTIFICACIÓN	07
1.5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	08
1.6. OBJETIVOS	09
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	10
2.1. INTRODUCCIÓN	10
2.1.1. PARÁMETROS DE DISEÑO A DETERMINAR	11
2.1.2. CEREALES EN LOS QUE SE DETERMINAN LOS PARÁMETROS DE DISEÑO	12
2.2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.2.1. DENSIDAD (ρ).....	14
2.2.2. ANGULO DE REPOSO (α).....	15
2.2.3. COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO	16

2.2.4.	CONTENIDO DE HUMEDAD.....	17
2.2.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.....	20
III.	PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	23
3.1.	DENSIDAD MÁSCA	24
3.2.	DENSIDAD MÁSCA COMPACTADA.....	25
3.3.	ÁNGULO DE REPOSO (VACIANDO EL CEREAL).....	27
3.4.	ÁNGULO DE REPOSO (LLENANDO EL CEREAL)	30
3.5.	COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO	32
3.6.	CONTENIDO DE HUMEDAD	35
IV.	DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO AGROINDUSTRIAL DE LOS CEREALES	37
4.1.	DENSIDAD MÁSCA	37
4.2.	DENSIDAD MÁSCA COMPACTADA	42
4.3.	ÁNGULO DE REPOSO (VACIANDO)	47
4.4.	ÁNGULO DE REPOSO (LLENADO)	54
4.5.	COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO	61
4.6.	CONTENIDO DE HUMEDAD	66
V.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	70
	CONCLUSIONES.....	76
	RECOMENDACIONES.....	78
	BIBLIOGRAFÍA.....	80

PRÓLOGO

La presente tesis titulada “Metodología para determinar parámetros de diseño agroindustriales de cereales” es un trabajo de investigación que tiene el objetivo de proponer una metodología para determinar las propiedades físicas de cereales, que son parámetros de diseño importantes para la mecanización del agro en las tareas agrícolas de la postcosecha, almacenamiento, transporte de granos, etc.; así como contribuir a mejorar la capacidad de investigación en la región de Puno, lo cual es importante para la mecanización agrícola de Puno.

La metodología propuesta es un aporte importante en la investigación de la determinación experimental de las propiedades físicas de la quinua, trigo y cebada.

Las propiedades físicas a determinar en los cereales son: la densidad, densidad compactada, ángulo de reposo, coeficiente de rozamiento estático respecto al concreto y acero galvanizado; parámetros de diseño que no existen en informaciones técnicas nacionales.

El presente trabajo de investigación consta de cinco capítulos:

En el primer capítulo se identifica el problema motivo de la tesis, sus antecedentes, justificación de la realización de la tesis, limitaciones en la investigación y finalmente los objetivos de la tesis.

En el segundo capítulo se aborda la fundamentación técnica necesaria referente a la densidad, ángulo de reposo, coeficiente de fricción estático, contenido de humedad y método de análisis estadístico de datos.

El tercer capítulo es la parte medular de la tesis, es decir el planteamiento y desarrollo de la metodología propuesta para la determinación de los parámetros de diseño.

En el capítulo cuarto se determina experimentalmente los parámetros de diseño agroindustriales de la quinua, trigo, cegada.

El capítulo cinco es un análisis de los resultados obtenidos comparándolos con los parámetros de diseño agroindustriales obtenidos por otros investigadores.

Quiero expresar mi agradecimiento a mis profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica por los conocimientos brindados en mis estudios de pregrado, que permitieron mi realización profesional. Dejo constancia de mi reconocimiento muy especial al Ing. Wilson Silva por el asesoramiento de esta tesis.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han hecho considerables investigaciones para determinar las propiedades físicas de productos agrícolas que constituyen parámetros de diseño de máquinas; en instituciones de investigación del extranjero se estudian y determinan propiedades físicas de productos agrícolas con la finalidad de idear y proponer técnicas y equipos que puedan ser estandarizados para la determinación de parámetros.

El conocimiento de las propiedades físicas de los productos agrícolas es fundamental en el diseño de máquinas, estructuras y equipos para la producción, manejo y procesamiento de productos. La investigación en ésta área se ha expandido vertiginosamente, al punto que se habla de una ingeniería de propiedades de productos agrícolas.

En la actualidad el investigador tiene que adaptar, diseñar y construir su propio equipo de investigación, lo que conlleva a que los parámetros de diseño obtenidos difieran en sus valores cuantitativos.

En la moderna agricultura, actualmente, se considera las características de los productos en términos de propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, ópticas, etc.; no obstante que la aplicación de estos parámetros en el campo de la ingeniería va incrementándose; en nuestro país es incipiente, porque no se realizan este tipo de investigaciones.

El desarrollo de la tesis está enmarcada en la experiencia de trabajo sobre cultivos andinos en la región de Puno, especialmente de la quinua, cereal que actualmente tiene excelentes perspectivas de exportación por las ventajas comparativas que posee.

En la región Puno el cultivo, cosecha y postcosecha de cultivos es casi de manera artesanal, la mecanización es casi nula; los resultados de la tesis serán un aporte para elevar su producción agrícola.

Una metodología para determinar parámetros de diseño agroindustriales de cereales, permitirá que se genere una tecnología intermedia de diseño, como alternativa viable de mecanización del agro de la región de Puno y de otras regiones del país, lo que contribuirá a elevar el nivel socioeconómico de los agricultores.

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Llevar a cabo diseños eficientes de sistemas mecánicos agrícolas implica la realización de investigaciones de las propiedades físicas de los productos agrícolas, en nuestro trabajo de los cereales andinos, propiedades que serán empleadas como parámetros de diseño.

La literatura concerniente a los parámetros de diseño de cereales en nuestro país es escasa, la única información técnica es la de la institución LINK BEIT, pero no proporciona información referente a aspectos importantes como: la metodología empleada, características del cereal, equipo.

Es lógico pensar que la metodología empleada, como las características de la variedad del cereal empleado determinará un valor particular para cada parámetro de diseño.

Considerando los aspectos anteriores se hace evidente la identificación del problema, consistente en la necesidad de establecer una metodología para determinar parámetros de diseño agroindustriales de cereales, que sea normalizado a través de las instituciones pertinentes de los diversos países.

El desarrollo de la tesis propone una metodología, que contribuirá a establecer una metodología normalizada.

La importancia de las propiedades físicas de los cereales como parámetros de diseño y la necesidad de investigación en esta área es muy importante para la mecanización del agro en las diferentes regiones del país.

1.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

A nivel nacional no se ha encontrado ninguna información referente a una metodología para determinar parámetros de diseño agroindustriales de cereales referentes a los que se determinarán en esta tesis: densidad másica, densidad másica compacta, ángulo de reposo y coeficiente de fricción estático.

Esta tesis está enmarcada en el trabajo realizado en la región sur del país (Arequipa, Cusco, Puno) en el tema de mecanización del agro rural. En esta región en muchas comunidades rurales se siguen utilizando técnicas ancestrales en las tareas agrícolas, la mecanización agrícola es nula.

En la región Puno, en los últimos 20 años o más han trabajado diversos organismos no gubernamentales (ONGs) en diversos proyectos de investigación de ayuda tecnológica para el sector rural, pero no existen antecedentes referentes al tema que se desarrolló en la tesis, lo que pudo verificarse al hacer trabajo de investigación bibliográfica.

Por información bibliográfica podemos referir que a nivel internacional diversos investigadores realizan trabajos para determinar parámetros de diseño agroindustriales y, al mismo tiempo los investigadores adaptan, diseñan y construyen sus propios equipos de investigación. En el mercado nacional no se ofertan equipos o máquinas para realizar este tipo de investigación.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Siendo una función fundamental del profesional contribuir a la solución de problemas de ingeniería en la sociedad, en ese sentido en base a experiencias de trabajo obtenidas en la Universidad de Manitoba (Canadá) sobre las actividades de post cosecha de la quinua, nos formulamos el problema de desarrollar una metodología para determinar parámetros de diseño agroindustriales de cereales. Teniendo la certeza que este proyecto de investigación será un aporte que contribuirá a mejorar y solucionar problemas de mecanización de los cultivos andinos, y ayudar con un granito de arena a elevar el nivel de vida socioeconómico del campesino de la

región de Puno, considerando que en la coyuntura económica actual hay muchas perspectivas de exportación de la quinua y la cañihua.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El proyecto de tesis consistente en una propuesta de metodología para determinar parámetros de diseño agroindustriales de cereales se justifica ampliamente por los siguientes aspectos.

Considerando el aspecto académico, el desarrollo de la tesis nos proporciona una visión interesante de las aplicaciones prácticas de la física en la ingeniería de diseño de sistemas de mecanización. La propuesta de métodos para determinar parámetros de diseño como la densidad de cereales, ángulos de reposo cuando el cereal se esté vaciando o llenando de silos, así como el coeficiente de fricción estático sobre diferentes superficies; implicó que se apliquen conocimientos básicos de la física, química, matemáticas, en conjunción con la experiencia para solucionar los problemas disponibilidad de parámetros de diseño, como por ejemplo del diseño de silos para almacenar la quinua, que es cereal andino que motivó el desarrollo de esta tesis.

Considerando el aspecto técnico, la región de Puno es la zona geográfica del Perú donde se cultiva la quinua en un gran porcentaje, pero al mismo tiempo en esta zona las actividades del agro no son mecanizados, podemos decir que el campesino puneño se dedica a una agricultura de subsistencia. En la coyuntura actual existe la perspectiva futura que al menos con el cereal de la quinua, se tiene que producir un cambio significativo y las actividades agrarias se tienen que mecanizar para elevar la producción y exportar en mayores cantidades y los métodos de determinación de

parámetros de diseño, propuestas en la tesis, contribuirán en la mecanización de las tareas de cosecha y post cosecha de los cultivos andinos, y como también de los otros cereales como la cebada, trigo, avena, etc.

De la misma manera la tesis será una información técnica de referencia para trabajos de investigación similares; que tienden a crear una tecnología apropiada para la determinación de propiedades físicas de productos que sean necesarias para el diseño de sistemas de mecanización.

La justificación económica y social del desarrollo de la tesis, es evidente, considerando que la contribución a la mecanización del agro a través de la generación de una tecnología para la determinación precisa de parámetros de diseño agroindustriales, que son necesarios para los cálculos de la ingeniería de diseño.

La mecanización del agro en la región de Puno, considerando en primera instancia el cereal andino de la quinua como referencia, cuyas ventajas competitivas le avizoran una gran perspectiva para la exportación, implicarán que el nivel de vida del campesino puneño desde el punto de vista económico y social mejorará en cierto grado.

1.4. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

En este trabajo de investigación los factores limitantes fueron:

- La falta de bibliografía especializada de información técnica respecto a procedimientos estándares de determinación de propiedades físicas.
- La no existencia de trabajos de investigación referenciales en el tema de la tesis.

- La falta de entidades que financien proyectos de investigación, determina que el aspecto económico impida desarrollar con mayor efectividad la investigación.

1.5 . La Universidad Agraria de la Molina de Lima cuenta con laboratorios equipados tecnológicamente donde se realizan investigaciones referentes al Agro de nuestro país.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

- Proponer una metodología para determinar parámetros de diseño agroindustriales de cereales.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Metodología para determinar la densidad másica.
- Metodología para determinar la densidad másica compactada.
- Metodología para determinar el ángulo de reposo (llenando el silo).
- Metodología para determinar el ángulo de reposo (vaciando el silo).
- Metodología para determinar el coeficiente de fricción estático.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. INTRODUCCIÓN

En el área de la ingeniería de diseños relacionados con la mecanización en general, manipulación de productos agrícolas, diseño de depósitos y almacenes para granos se presentan problemas importantes relacionados con la falta de información sobre los parámetros de diseño de los productos.

Para un proceso determinado de un producto, el llevar a cabo un diseño eficiente del sistema mecánico, estará en función de la maquina a diseñar, la cual debe estar emparejada a un conocimiento de parámetros de diseño del producto. Una total investigación de los parámetros de diseño frecuentemente determina un conveniente sistema de mecanización.

La eficiencia y rendimiento teórico de máquinas y mecanismos usados en manipulación mecánica y procesamiento de productos no puede ser apreciado totalmente sin el conocimiento exacto de los parámetros de diseño del producto, los cuales son importantes en los cálculos de la ingeniería de diseño.

En el diseño de sistemas de mecanización agroindustrial es frecuente la necesidad de contar con información confiable sobre los parámetros de diseño de productos agrícolas.

La solución a la falta de información de parámetros de diseño de granos, como problema en la ingeniería de diseño, solo se dará cuando se determinen experimentalmente valores con la precisión requerida para la aplicación respectiva y, estos parámetros se determinaran teniendo en cuenta las condiciones reales de diseño.

2.1.1. PARÁMETROS DE DISEÑO A DETERMINAR

En este trabajo de tesis, la determinación de parámetros de diseño, estará en función a la disponibilidad de instrumentos y equipos necesarios, la información técnica de procedimientos para realizar las pruebas y los criterios de diseño prácticos para construir los equipos que permitan realizar las pruebas experimentales adecuadamente y, comparar los resultados con publicaciones especializadas que incluyen los parámetros de diseño que determinaremos.

Los parámetros de diseño a determinar son:

1. Densidad másica.
2. Densidad másica compacta.
3. Angulo de reposo (vaciando el depósito)
4. Angulo de reposo (llenando el depósito)
5. Coeficiente de rozamiento estático (granos-concreto y granos-acero galvanizado)
6. Contenido de humedad.

2.1.2. CEREALES EN LOS QUE SE DETERMINAN LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

Los cereales en los que se determinaran los parámetros, está basado en las características agroindustriales de la región del altiplano (Puno) y con la perspectiva de generar a través de esta tesis el desarrollo de la potencialidad futura de producción de cereales andinos (quinua).

Otros aspectos que se tuvieron en cuenta para decidir en qué cereales se determinará los parámetros, fueron la información técnica que se recabó en el Ministerio de Agricultura de la ciudad de Puno, sobre cereales representativos que se cultivan en la zona con perspectivas de aumentar su producción en el futuro, sustentada en una mecanización del agro.

En base a lo anterior se planteó específicamente que se determinaran experimentalmente los parámetros de diseño de los siguientes cereales:

1. Trigo (Triticum). Planta gramínea muy abundante. Se tiene muchas especies de trigo y en ellas innumerables variedades, por ejm. Trigo candeal, sarraceno trigo barleta, etc.

El trigo que se empleará en el experimento, es el trigo primaveral variedad altiplano.



Fig. 2.1 TRIGO PRIMAVERAL VARIEDAD ALTIPLANO

2. Cebada (Civada). Planta de la familia de las gramíneas, resistente a climas fríos, se tiene muchas variedades, por ejemplo: cebada perlada, cebada griñón, cebada Camacani-I, etc.

La cebada que se empleara en el experimento es la cebada cervecera variedad Günther presentada por la Compañía Cervecera del Sur del Perú S.A., que sin duda mejorara sustancialmente la economía y la alimentación de quienes se dedican a este cultivo tradicional.



Fig. 2.2 CEBADA VARIEDAD GÜNTHER

3. Quinoa (*Chenopodium quinoa* willd). Gramínea de elevado contenido de proteínas (14-22%), vitaminas y minerales, motivo por el cual es considerado como alimento básico, de alto valor nutritivo. Es una planta resistente a bajas temperaturas, heladas, granizo, sequía (veranillos) y aun otros fenómenos; también es importante por ser originario del Perú. Existen diversas variedad de quinoa por ejemplo Sajama, Real, Blanca de Juli, Tahuaco, Chihueca, etc.

La quinoa que se utilizara en los experimentos será la variedad Blanca de Juli.



Fig. 2.3 VARIEDAD BLANCA DE JULI

2.2. MARCO TEÓRICO

En el proyecto de tesis se emplean los siguientes fundamentos teóricos:

2.2.1. DENSIDAD (ρ)

Se define como su masa por unidad de volumen de una sustancia, así un cuerpo de masa “m” y volumen “v” tiene una densidad:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

En el S.I. la densidad se expresa en Kg m^{-3}

La densidad definida en la ecuación (2.1) es aplicable solamente a cuerpos homogéneos, es decir a cuerpos que tienen la misma composición o estructura a través de todo su volumen.

2.2.2. ANGULO DE REPOSO (α)

Como los granos no se comportan como fluidos perfectos durante su movimiento es necesario conocer el concepto físico de ángulo de reposo, que está definido como el ángulo máximo del talud formado por el material granular amontonado en relación a la horizontal.

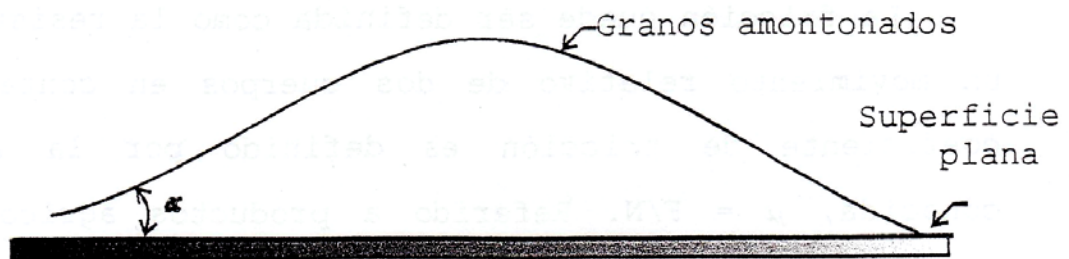


Fig. 2.4. ESQUEMA DEL ANGULO DE REPOSO (α)

El ángulo de reposo varía de acuerdo al material, los factores que influyen en el, son:

- Tamaño del grano: a mayor tamaño, mayor ángulo de reposo.
- Forma del grano.
- Contenido de humedad: a mayor humedad mayor ángulo de reposo.
- Rugosidad del grano.

GRANOS	ANGULO DE REPOSO (GRADOS)
Arroz con cáscara	36 a 40
Arroz sin cáscara	24 a 30
Café	27 a 30
Soya	29
Avena	>30
Maíz molido	27
Trigo	25 a 28
Cebada	>30
Granos secos	35
Granos húmedos	42

Tabla 2.1. ÁNGULOS DE REPOSO DE DIVERSOS GRANOS.

2.2.3. COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO

La fricción puede ser definida como la resistencia a un movimiento relativo de dos cuerpos en contacto; el coeficiente de fricción es definido por la relación conocida $\mu = F/N$. referido a productos agrícolas, la fricción puede ser referida al deslizamiento o rodadura sobre una superficie, o al movimiento relativo de partículas dentro de la masa de un producto.

Basándonos en la relación $\mu = F/N$ de las leyes de la fricción, las cuales fueron establecidas primero por Amontons y más tarde verificadas por Coulomb, son usualmente establecidas como sigue:

1. La fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal.
2. La fuerza de fricción es independiente del área de las superficies deslizantes.
3. La fuerza de fricción es independiente de la velocidad de deslizamiento.
4. La fuerza de fricción depende de la naturaleza de los materiales en contacto.

Recientes investigaciones usando técnicas de medición mejoradas han mostrado que algunos de estos conceptos de fricción no pueden ser explicados convencionalmente por la Ley del coeficiente de fricción Coulomb; Sherwood (1951), resumió los-conceptos de fricción más comúnmente aceptado como sigue:

1. La fuerza de fricción, puede ser definida como la fuerza actuando en un plano.
2. La fuerza de fricción puede ser considerada como compuesta por dos componentes principales, una fuerza requerida para deformar y algunas veces cortar las asperezas de las superficies en contacto, y una fuerza requerida para vencer la adhesión y cohesión entre las superficies.
3. La fuerza de fricción es directamente proporcional al área de contacto.
4. La fuerza de fricción depende de la velocidad de deslizamiento de las superficies en contacto, porque la velocidad afecta la temperatura de los materiales en contacto.
5. La fuerza de fricción no depende de la aspereza de la superficie, excepto en el caso de superficies muy ásperas.

Como su conclusión final, Sherwood (1951) estableció que a pesar de estos nuevos descubrimientos, la ley de fricción de Coulomb continua siendo útil aunque no explica totalmente muchos de los eventos observados.

2.2.4. CONTENIDO DE HUMEDAD

Aunque la medición del contenido de humedad es considerada frecuentemente como un procedimiento analítico simple, requiere de un procedimiento experimental cuidadoso.

Hay problemas no sólo en la medición indirecta basada en algunas propiedades del material, las cuales varían con el contenido de humedad; sino también en métodos directos los cuales dependen de la pérdida de peso, cuando el contenido de humedad es removido fuera del material o de la reducción de su volumen.

La absorción del vapor de agua por materiales inorgánicos es un proceso complejo no totalmente comprendido. La complejidad llega a ser mayor cuando son materiales biológicos, la cual es debido principalmente al factor que el agua puede estar presente en formas diferentes:

Primero, el agua puede estar presente como agua de hidratación. Este contenido de humedad está ligado químicamente a los constituyentes del material y no es considerada en la determinación del contenido de humedad.

Segundo, el agua puede estar ligado físicamente al material por fuerzas superficiales que actúan sobre el agua de condensación. Este contenido de humedad está presente en una capa unimolecular sobre la superficie del material.

Tercero, el agua puede estar presente normalmente condensado, llamado algunas veces agua "libre"; el que es resultado de un proceso de condensación ocurrido en el material biológico.

El contenido de humedad en los tres últimas formas es intercambiado entre el material, sus alrededores hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio, en el cual no hay ganancia ni pérdida de contenido de humedad.

El contenido de humedad de equilibrio es función de la temperatura, humedad relativa, el tipo del material y el contenido de humedad previo del material.

En productos agrícolas es muy dificultoso por no decir imposible remover toda la humedad por la aplicación del calor. Varias sociedades técnicas tienen establecidos procedimientos estándar para la determinación del contenido de humedad en hornos.

El contenido de humedad, es decir, la cantidad de agua evaporada existente en un producto, se expresa en relación a su masa húmeda o a su masa seca. Se ha calculado aplicando las siguientes ecuaciones:

$$H_s = \frac{m_h - m_s}{m_s} \quad (2.2)$$

$$H_h = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100(\%) \quad (2.3)$$

Donde:

H_s : humedad del producto en base seca

H_h : humedad del producto en base húmeda

m_h : masa húmeda del producto

m_s : masa seca el producto

La determinación directa del contenido de humedad implica medir la masa húmeda total del producto y la masa seca correspondiente; por esto se suele eliminar el agua evaporable contenida en él aplicando calor. El agua evaporable no es constituyente del producto, al evaporarla puede suceder que simultáneamente se evapore otras

sustancias del producto o las condiciones de humedad del aire circundante no permitan remover el agua más allá de cierto límite.

2.2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Es una regla general el hecho de que debe de aplicarse alguna forma de análisis a todos los datos experimentales pues siempre aparecen errores en todos los experimentos por mucho cuidado que se haya puesto en ellos. Algunos de estos errores son de naturaleza aleatoria, mientras que otros se deben a errores por parte del observador.

Por ello el primer paso en el análisis de datos experimentales, es el examen de la congruencia de datos, para eliminar los datos que de acuerdo al sentido común no parezcan apropiados.

El segundo paso es el análisis en sí, pues ocurre que al medir una magnitud un número limitado de veces "n" dará valores diferentes debido a su naturaleza aleatoria, y éste paso tiene por finalidad hallar un solo valor que esté "lo más cerca posible del verdadero valor" el cual es desconocido.

El procedimiento de análisis de datos aplicado en la determinación de cada uno de los parámetros de diseño es el siguiente:

Los valores para los datos de las "n" mediciones, están representados por $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$.

a) Media aritmética: \bar{X}

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.4)$$

La media aritmética se tiende a confundir con el valor exacto de la magnitud, si "n" tiende al infinito, luego podemos adoptar el promedio aritmético de los valores "X" como el valor más probable.

b) Rango de variación: R

$$R = X_{\text{máxima}} - X_{\text{mínimo}}$$

c) Desviación: d_i

$$d_i = X_i - \bar{X}$$

d) La desviación estándar: σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (2.5)$$

e) Error absoluto y error porcentual

$$\varepsilon_{abs} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_{\%} = \frac{\varepsilon_{abs}}{\bar{X}} \times 100 \quad (2.7)$$

f) Criterio de Chauvenet para el rechazo de lecturas incorrectas,' en la práctica se aplica este criterio para la eliminación de datos, cuyo procedimiento es el siguiente:

1. De las lecturas tomadas hallar la media (\bar{X}) y la desviación estandar (σ).
2. Luego determinar la desviación (d_i).
3. Comparar la relación d_i/σ con lo que aparece en la tabla de Chauvenet.
4. Descontar los valores que resulten mayores que los de la tabla de Chauvenet.
5. Los datos que resulten menores serán los válidos y conformarán la nueva lista. La media, la desviación estándar y otras propiedades más serán evaluados con la nueva lista.

NÚMERO DE LECTURAS DEL EXPERIMENTO	RELACIÓN DE LA MÁXIMA DESVIACIÓN ADAPTABLE A LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR (d_i/σ)
2	1.15
3	1.38
4	1.54
5	1.65
6	1.73
7	1.80
10	1.96
15	2.13
25	2.33
50	2.57
100	2.81

Tabla 2.2. Tabla de Chauvenet

III. PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

El Planteamiento y desarrollo de la metodología para la determinación de parámetros de diseño agroindustriales para cereales está basado en métodos y equipamientos especificados por The Canadian Grain Commission (Canadá), el curso de postgrado “Sistema de almacenaje de granos” que se desarrolla en el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Manitoba de Canadá y la experiencia de trabajo desarrollado en Puno sobre la mecanización del proceso de trillado de la quinua.

El conocimiento de estos parámetros de diseño, son importantes para el diseño de sistemas de manipulación de granos. Por ejemplo, el diseño de silos, en la predicción de cargas estructurales, diseño de sistemas de transporte de granos, inclinación de chutes, etc.

3.1. DENSIDAD MÁSCICA

3.1.1. Planteamiento del Método Experimental

La densidad del cereal (cebada, trigo y quinua) a determinar experimentalmente no será de un solo cereal sino de una muestra de un conjunto determinado de cereales.

El equipo propuesto consiste en una tolva metálica en forma de cono truncado invertido (embudo), el diámetro superior de 225 mm, el diámetro inferior de 38 mm y la altura del cono es de 160 mm. Una tapa deslizante cierra la abertura inferior del cono.

El recipiente receptor cilíndrico tiene una capacidad de 0,5 L (500 mL), diámetro de 90 mm y 78 mm de profundidad. El recipiente es colocado bajo la tolva de tal manera que la parte inferior del cono esté a 44 mm encima de la parte superior del recipiente. Aproximadamente 600 ml de cereal es llenado en el cono, entonces la puerta deslizante es abierta, llenándose el recipiente. El exceso de cereal es nivelado en el recipiente con una varilla de madera de 19 mm de diámetro con 3 movimientos de zigzag. La masa del cereal en el recipiente es medido y la densidad másica es calculada.

3.1.2. Construcción del Equipo

- Una tolva en forma de cono truncado de plancha galvanizada, cuya parte superior El equipo construido para las pruebas experimentales fue el siguiente:

tiene un diámetro de 225 mm, la parte inferior tiene un diámetro de 38 mm con su respectiva tapa y la altura de la tolva es de 160 mm.

- Un recipiente receptor de cereal de forma cilíndrica construida de planta galvanizada con una capacidad de 0,5 litros (500 mL), diámetro de 90 mm y 78 mm de profundidad.
- Un soporte de varilla metálica donde va montada la tolva a una distancia adecuada del recipiente receptor.
- Una varilla cilíndrica de madera para nivelar el exceso de cereal en el recipiente receptor, de 15 mm de diámetro y una longitud de 300 mm.

Para pesar se utilizó una balanza de marca Leybold (Alemania), que tenía el siguiente juego de pesas en gramos: 200; 100; 50; 20; 10; 5; 2; 1; 0,500; 0,200; 0,100; 0,050; 0,010.

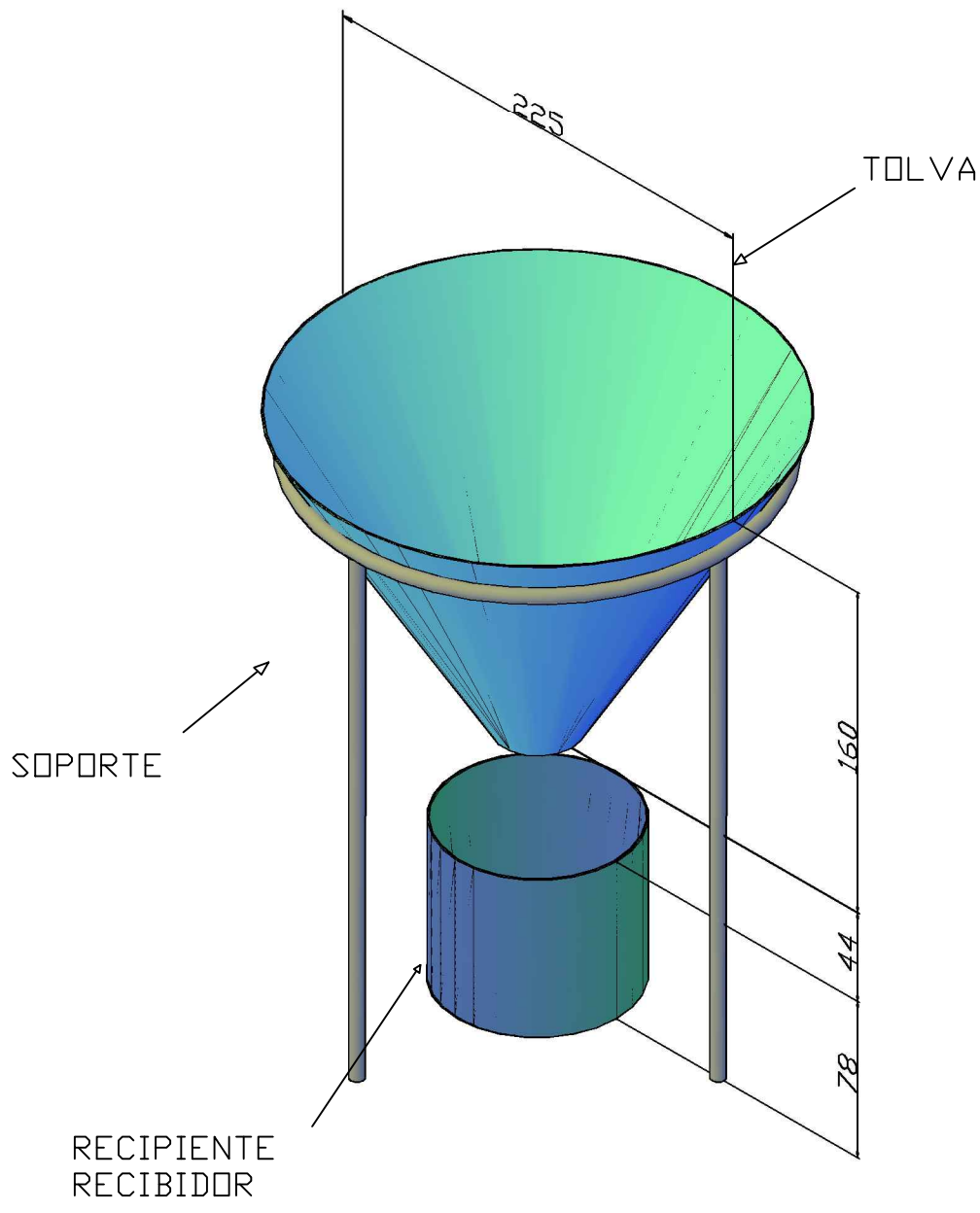
3.1.3. Costo del Equipo

Tolva cónica metálica	:	S/. 100,00
Receptor	:	50,00
Soporte	:	40,00
Varilla	:	<u>20,00</u>
TOTAL	:	S/. 210,00

3.1.4. Montaje del Equipo

Para las pruebas experimentales el equipo se montó de la siguiente manera:

En una superficie nivelada se monta la tolva cónica centrándolo sobre el soporte circular, de manera que la parte inferior de él, cerrado con la tapa circular, quede a una distancia de 44 mm de la parte superior del receptor del cereal; siendo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
INGENIERIA MECANICA

PLANO: FIG. N° 3.1.1 EQUIPO PARA LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD MASICA

ESCALA: 1:2

FECHA: 10/08/2011

DIBUJO: CONDORI ARGANDOÑA JULIO

esta la disposición inicial del equipo para cada prueba, como se muestra en las figuras N° 3.1.1 y 3.1.2

3.2. DENSIDAD MÁSCICA COMPACTADA

3.2.1. Planteamiento del Método Experimental

La densidad máscica compactada es aquella que tiene el cereal cuando es dejado caer desde cierta altura, como por ejemplo cuando se está llenando un silo de almacenamiento.

El equipo propuesto, es el mismo equipo utilizado para la determinación de la densidad máscica al cual se le agregó un tubo de PVC entre la tolva y el recipiente receptor, que simule una altura de caída del cereal, que le compactará en cierto grado.

Para determinar la densidad máscica compactada el cereal es dejado caer lentamente hacia abajo por el tubo de PVC que tiene un diámetro interior de 100 mm y una longitud de 1500 mm. El mismo recipiente receptor de 500 mL de la densidad máscica fue usado, el cereal es dejado caer verticalmente dentro del recipiente. Ésta densidad determinada es el que más se acerca a la densidad máscica compacta que ocurre durante el llenado de silos de almacenaje de cereales. Las densidades máscicas en silos de cereales son altamente variables dependiendo de muchos factores que no pueden ser predecidos.

El cereal que es caído de la tolva a través del tubo de PVC y que llena el recipiente es medido y la densidad máscica compactada es calculada.

3.2.2. Construcción del Equipo

Para realizar las pruebas experimentales se utilizó el mismo equipo de la densidad másica, al que se le agregó un tubo de PVC de 1500 mm de longitud y 100 mm de diámetro interior; entre la tolva y el recipiente receptor.

Se construyó un soporte de madera para la tolva de aproximadamente 1600 mm de altura.

Para fijar el tubo de PVC se utilizó un soporte de mordazas de laboratorios.

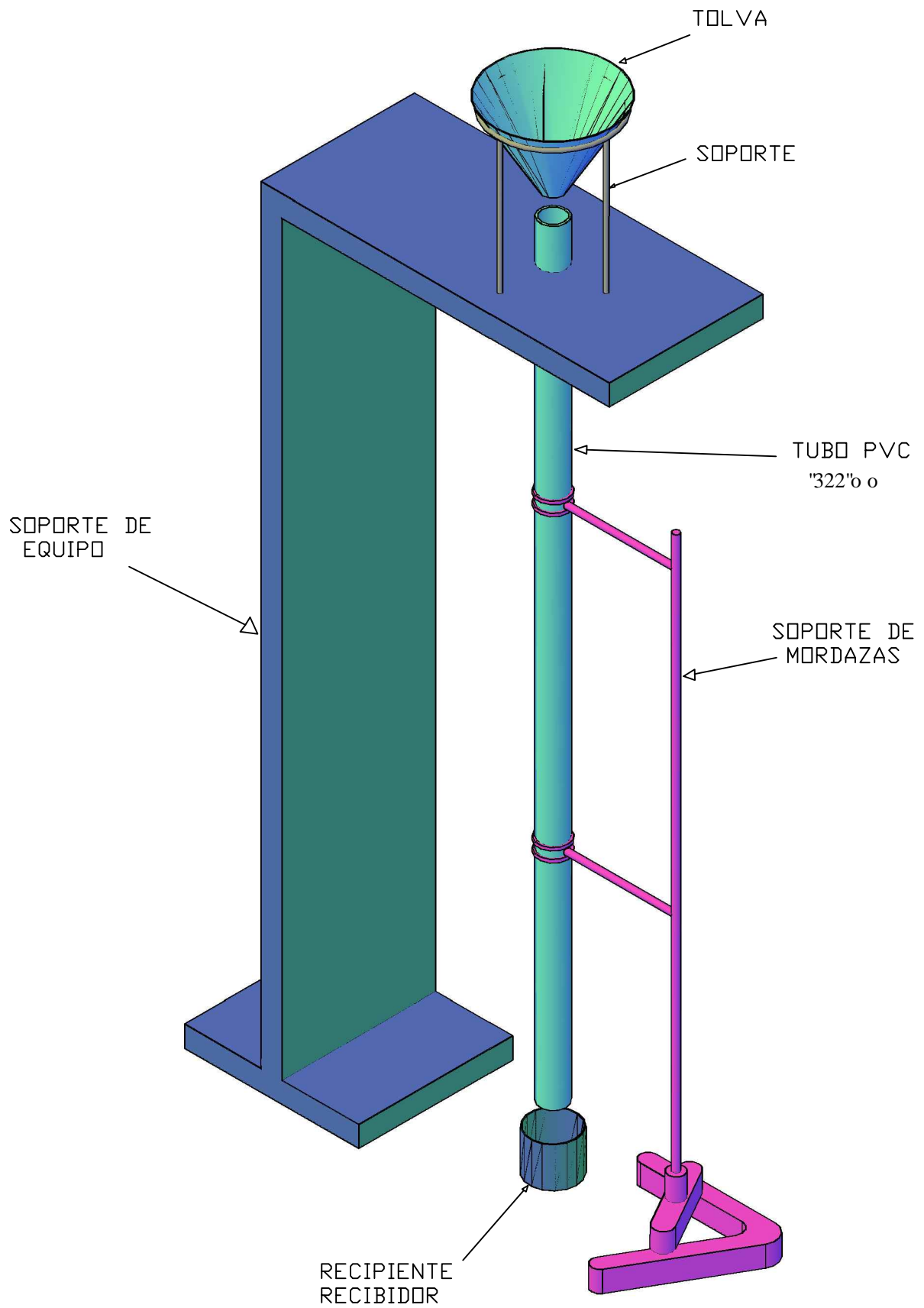
3.2.3. Costos del Equipo

Tolva cónica metálica	:	S/. 100,00
Recipiente receptor	:	50,00
Soporte	:	40,00
Varilla	:	20,00
Tubo PVC	:	30,00
Soporte de Madera	:	<u>150,00</u>
TOTAL	:	S/. 390,00

3.2.4. Montaje del Equipo

Para las pruebas experimentales el equipo se montó de la siguiente manera:

La tolva cónica se montó centrándolo sobre la parte superior del soporte de madera, quedando la parte inferior de la tolva cónica a una distancia de 1668 mm del suelo aproximadamente. El tubo de PVC se sujetó verticalmente con el soporte de mordazas sólidas, de tal manera que sus extremos superior e inferior queden a una



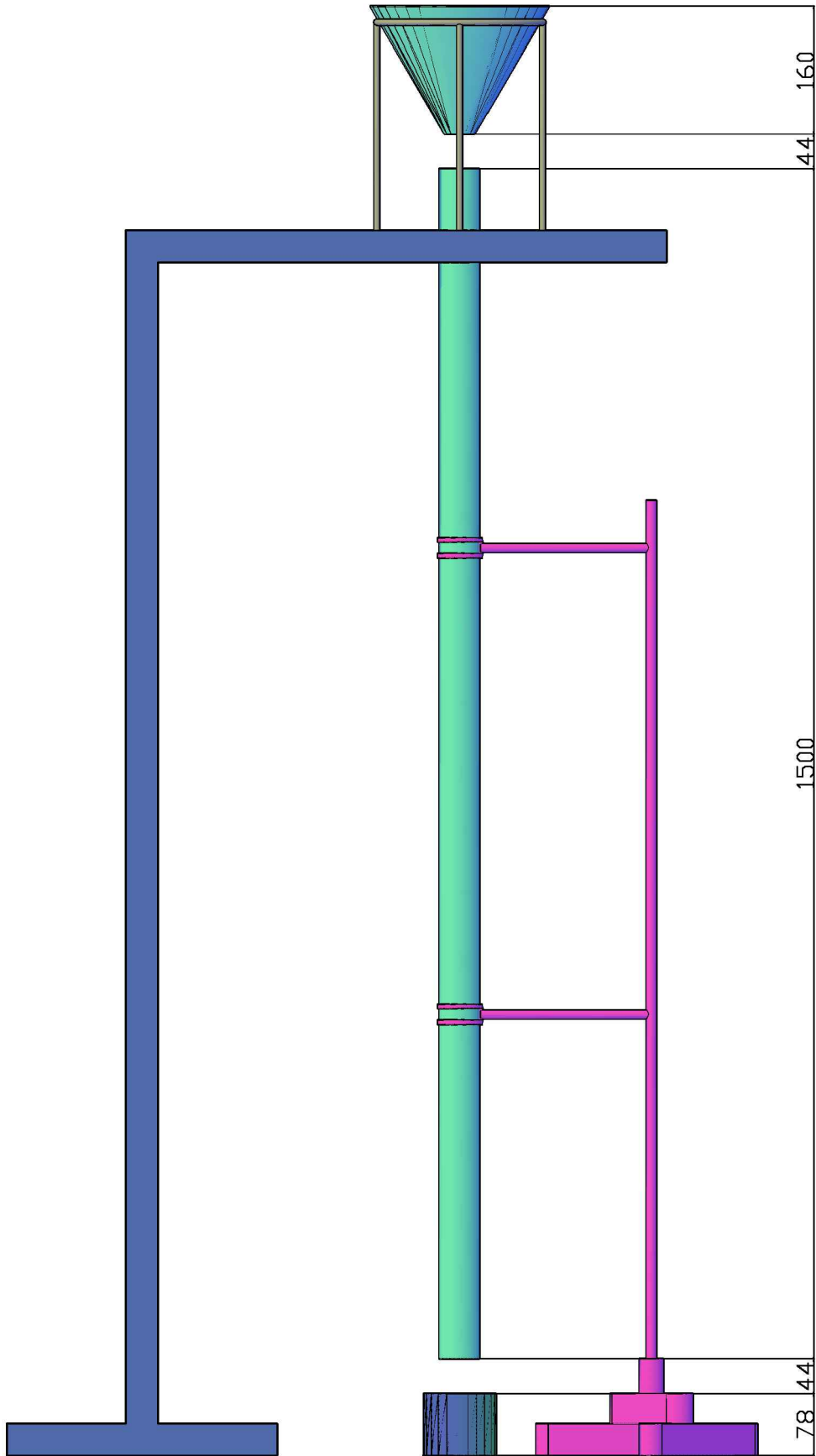
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
INGENIERIA MECANICA

PLANO: FIG. N° 3.2.1 EQUIPO PARA LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD MASICA COMPACTADA

ESCALA: 1:8

FECHA: 10/08/2011

DIBUJO: ARGANDOÑA CONDORI JULIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
INGENIERIA MECANICA

PLANO: FIG. N° 3.2.2

DISPOSICION DEL EQUIPO PARA LA DETERMINACION
DE LA DENSIDAD MASICA COMPACTADA

ESCALA: 1:8

FECHA: 10/08/2011

DIBUJO:
ARGANDOÑA CONDORI JULIO

distancia de 45 mm de la parte inferior de la tolva y parte superior del recipiente receptor respectivamente, este último descansa sobre una superficie nivelada del suelo. El montaje del equipo será el correcto, cuando los ejes centrales del cono, tubo PVC y recipiente receptor formen un solo eje vertical perpendicular al piso, como se muestra en las figuras N° 3.2.1 y 3.2.2.

3.3. ÁNGULO DE REPOSO (VACIANDO EL CEREAL)

3.3.1. Planteamiento del Método Experimental

El método permitirá determinar el ángulo de reposo cuando se vacía el cereal de un silo de almacenamiento.

El ángulo de reposo fue medido con una caja de 430 mm de longitud, 200 mm de ancho y 430 mm de altura. La caja fue llenada hasta un nivel de cereal de una profundidad de 350 mm. El cereal fue entonces permitido fluir hacia afuera de la caja a través de la abertura inferior de 50 mm de altura por 200 mm de ancho, abierto a lo largo de la parte inferior de una de las paredes. Los ángulos de reposo vaciando el cereal fuera calculadas de las medidas de las distancias de las superficies del grano de la parte superior de la caja y de la inferior medidos a 20 mm de la abertura final y a 50 mm de la pared sin abertura.

3.3.2. Construcción del Equipo

Para realizar las pruebas experimentales se construyó el siguiente equipo:

- Una caja de madera triplay doble de 430 mm de longitud, 200 mm de ancho y 430 mm de altura.

- Una de las caras de 430 mm x 430 mm es de vidrio (para observar el ángulo de reposo), en la cual se pegaron dos cintas métricas verticalmente a las distancias mostradas.
- En una de las caras laterales de 200 mm de ancho, en la parte inferior se hizo una abertura de una altura de 50 mm con su respectiva tapa, que permita cerrar y abrir la abertura durante cada una de las pruebas.

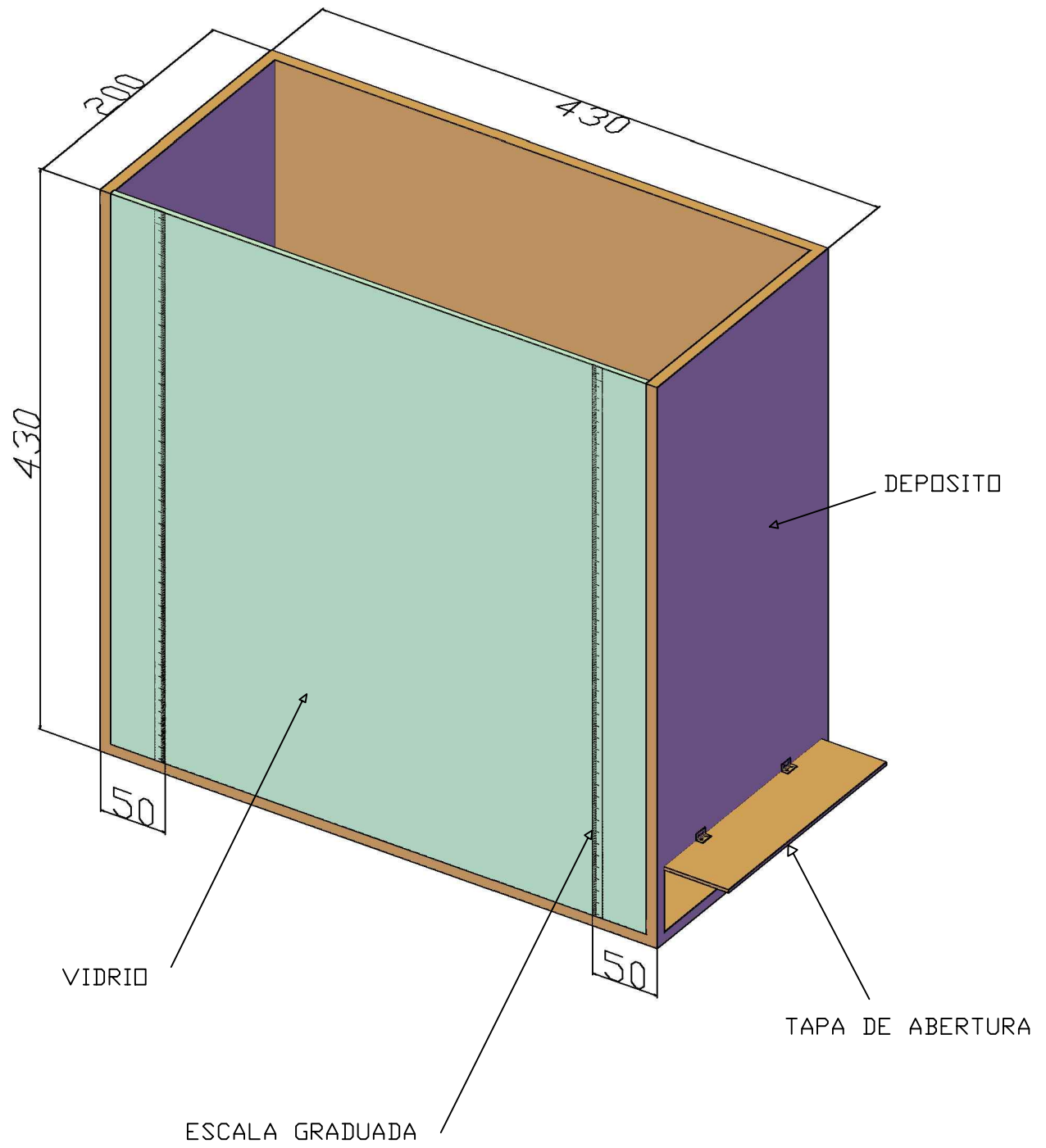
3.3.3. Costos del Equipo

Caja de madera	:	S/. 250,00
Superficie de Vidrio	:	100,00
Cintas métricas	:	<u>30,00</u>
TOTAL	:	S/. 380,00

3.3.4. Montaje del Equipo

Para las pruebas experimentales el equipo se montó de la siguiente manera:

En UNA Superficie nivelada se colocó la caja de madera, con la superficie de vidrio hacia el observador, para sí, poder medir el talud del cereal. La puerta de abertura inferior se cerró para que el cereal no fluya por ella, como se muestra en la siguiente figura N° 3.3.2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
INGENIERIA MECANICA

PLANO: FIG. N° 3.3.2 EQUIPO PARA LA DETERMINACION DEL ANGULO DE REPOSO (VACIANDO)

ESCALA: 1:4

FECHA: 10/08/2011

DIBUJO: ARGANDOÑA CONDORI JULIO

3.4. ÁNGULO DE REPOSO (LLENANDO EL CEREAL)

3.4.1. Planteamiento del Método Experimental

El método permitirá determinar el ángulo de reposo cuando se llena de cereal el silo de almacenamiento.

El ángulo de reposo llenado del cereal es el ángulo comprendido entre el horizontal y la superficie superior inclinada de un montículo de cereal creado por la caída de cereal.

Usamos una caja de 1220 mm de longitud, 100 mm de ancho y 760 mm de altura con una cara de 1220 mm x 760 mm de vidrio que nos permitirá ver el perfil de la superficie del cereal.

El cereal fue cargado dentro de una tolva metálica colocada al medio de la longitud de 1220 mm de la caja. La parte inferior de la tolva debe estar a 800 mm arriba del piso de la caja. La abertura inferior de la tolva es un cuadrado de 53 mm de lado, cuya tapa es cerrada mientras fue llenado de cereal. Al abrirse la tapa el grano es permitido caer dentro de la caja, formando un montón de forma triangular en la caja. Suficiente cereal debe ponerse dentro de la tolva para que la parte inferior del montón triangular de cereal casi alcance los extremos de la caja. La inclinación de la superficie superior del montón de ambos lados del pico serán medidos. La profundidad del montón de cereal fue medido aproximadamente de 100 a 200 mm fuera del pico, donde el cereal caído no aplane la cima del montículo. La profundidad fue medida cerca de la base del montón. La distancia horizontal entre estas dos medidas fue también medida y el ángulo de reposo pudo ser calculado.

3.4.2. Construcción del Equipo

El equipo construido para las pruebas experimentales fue el siguiente:

La caja se construyó de madera de 1220 mm de longitud, 100 mm de ancho y 760 mm de altura.

Una pared frontal de 1220 mm x 760 mm es de vidrio para que se pueda ver el talud que forma el cereal depositado en la cual se pegaron verticalmente cuatro cintas métricas y horizontalmente una cinta, la posición de estos se muestran en la figura del equipo.

El cereal cae a la caja de madera desde una tolva metálica, la cual se construyó de plancha metálica galvanizada, la abertura superior de la tolva es un cuadrado de 400 mm de lado con una altura de 420 mm, la parte inferior abierta de la tolva por donde fluye el cereal tiene una sección cuadrada de 53 mm de lado, con una puerta deslizante para cerrar y abrir permitiendo el flujo del cereal, que está a una distancia vertical hacia debajo de 210 mm, como se muestra en la figura N° 3.4.

3.4.3. Costos del Equipo

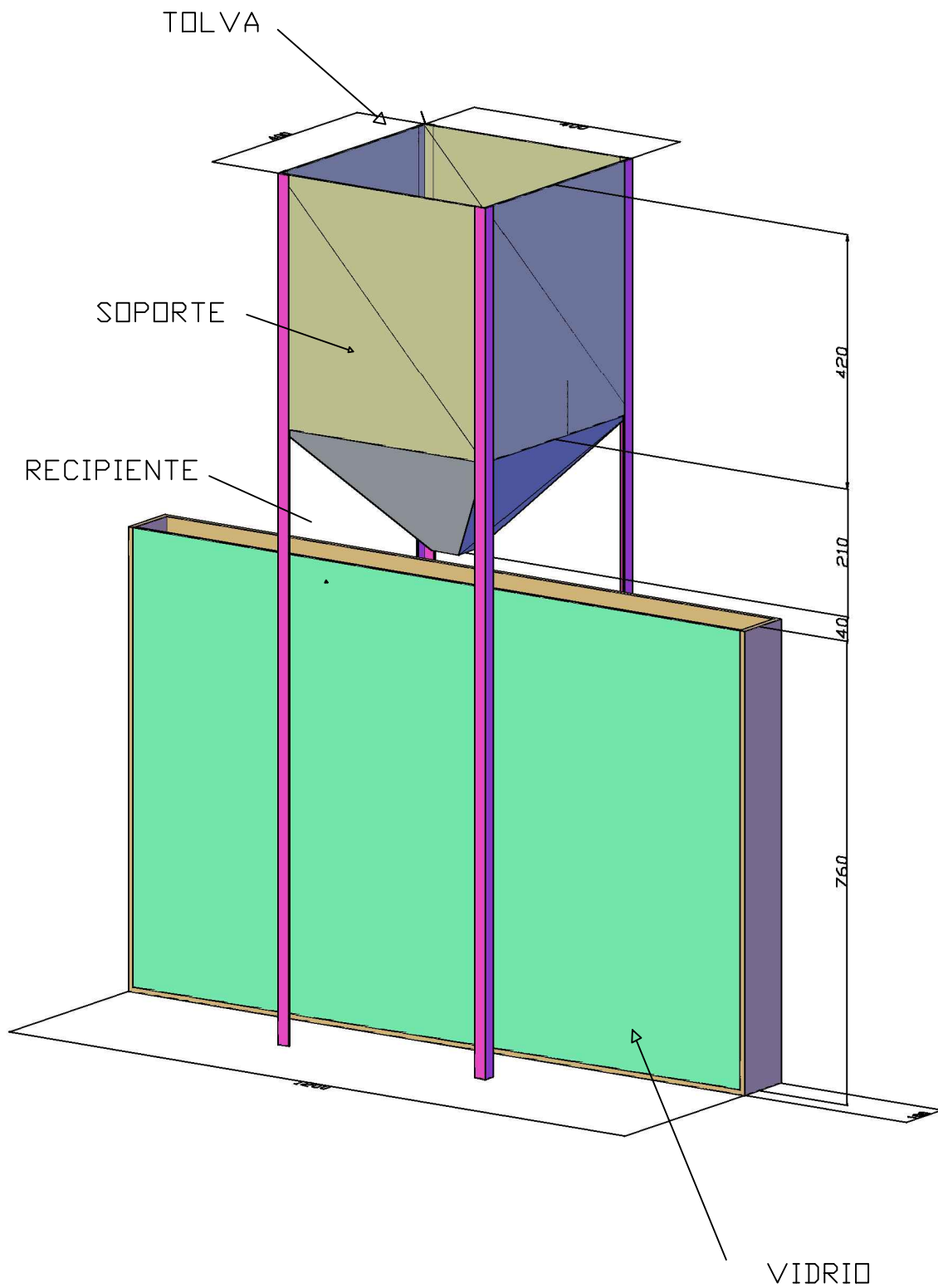
Caja de madera	:	S/. 300,00
Tolva metálica	:	<u>250,00</u>
TOTAL	:	S/. 550,00

3.4.4. Montaje del Equipo

Para las pruebas experimentales el equipo se montó de la siguiente manera:

El depósito o caja de madera donde cae el cereal se colocó sobre una superficie nivelada.

Luego con la ayuda de una plomada se centra la tolva metálica, sobre la caja, de tal manera que la parte inferior de la tolva esté a 800 mm del piso de la caja. De esa manera el equipo queda listo para la realización de cada prueba, como se muestra en las figuras N° 3.4.1 y 3.4.2.



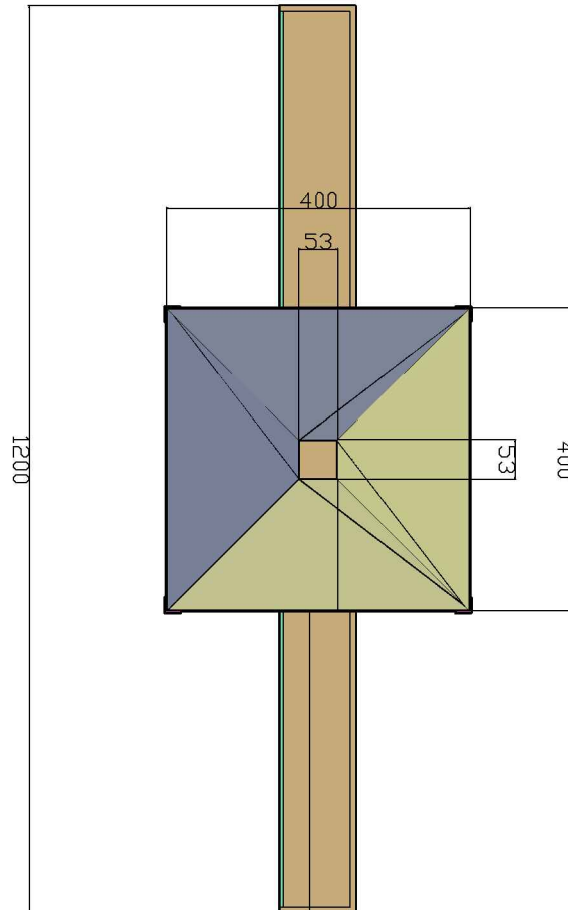
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
INGENIERIA MECANICA

PLANO: FIG. N° 3.2 EQUIPO PARA LA DETERMINACION DEL ANGULO DE REPOSO (LLENANDO)

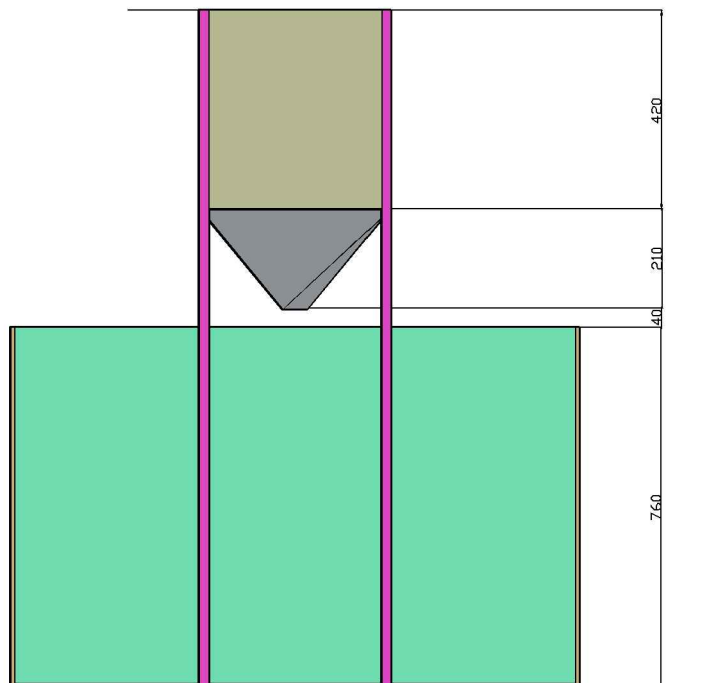
ESCALA: 1:10

FECHA: 10/08/2011

DIBUJO: ARGANDOÑA CONDORI JULIO



ESCALA: 1:10



ESCALA: 1:16

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
INGENIERIA MECANICA

PLANO: FIG. N° 3.2.1 EQUIPO PARA LA DETERMINACION DEL ANGULO DE REPOSICIONAMIENTO

ESCALA: 1:10_1:16

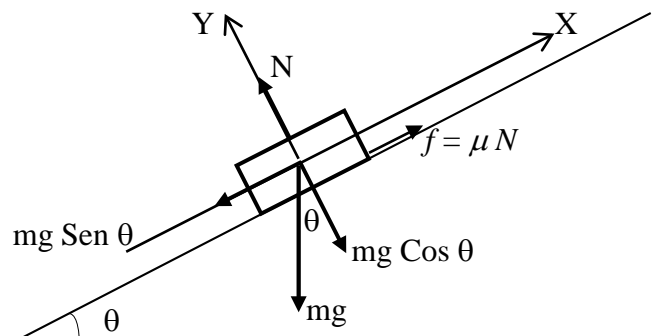
FECHA: 10/08/2011

DIBUJO: ARGANDOÑA CONDORI JULIO

3.5. COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO

3.5.1. Planteamiento del Método Experimental

El método para determinar el coeficiente de fricción estático está basado en el principio teórico siguiente:



Un instante antes que comience el deslizamiento de la muestra:

$$\sum F_y = 0 : N - mg \text{ Cos } \theta$$

$$N = mg \text{ Cos } \theta \quad \dots (1)$$

$$\sum F_x = 0 : mg \text{ Sen } \theta - \mu N = 0$$

Reemplazando en (1):

$$mg \text{ Sen } \theta - \mu (mg \text{ Cos } \theta) = 0$$

$$\mu = \frac{mg \text{ sen } \theta}{mg \text{ cos } \theta}$$

$$\mu = \text{tg } \theta$$

El principio teórico anterior es utilizado por el friccionómetro, equipo que se tiene en los laboratorios de física de las universidades. Que consta de una base sólida en la cual van montadas la superficie de levantamiento sobre la cual se colocará la superficie de ensayo y encima de ésta el marco de madera que contendrá la muestra del cereal para determinar el coeficiente de fricción estático entre ellos.

Para medir el ángulo de la superficie de levantamiento el friccionómetro tiene una escala angular. La base sólida tiene tornillos de nivelación.

3.5.2. Construcción del Equipo

El equipo no se construyó, sino se utilizó un friccionómetro de marca Leybold (Alemania) al que se adaptó los siguientes accesorios:

- Una superficie de concreto de 180 mm de longitud por 85 mm de ancho.
- Una superficie de acero galvanizado de 180 mm de longitud por 85 mm de ancho.
- Un marco de madera de 180 mm de longitud por 85 mm de ancho, cuyos elementos tienen una sección cuadrada de 10 mm de lado.

3.5.3. Costos de los accesorios del equipo

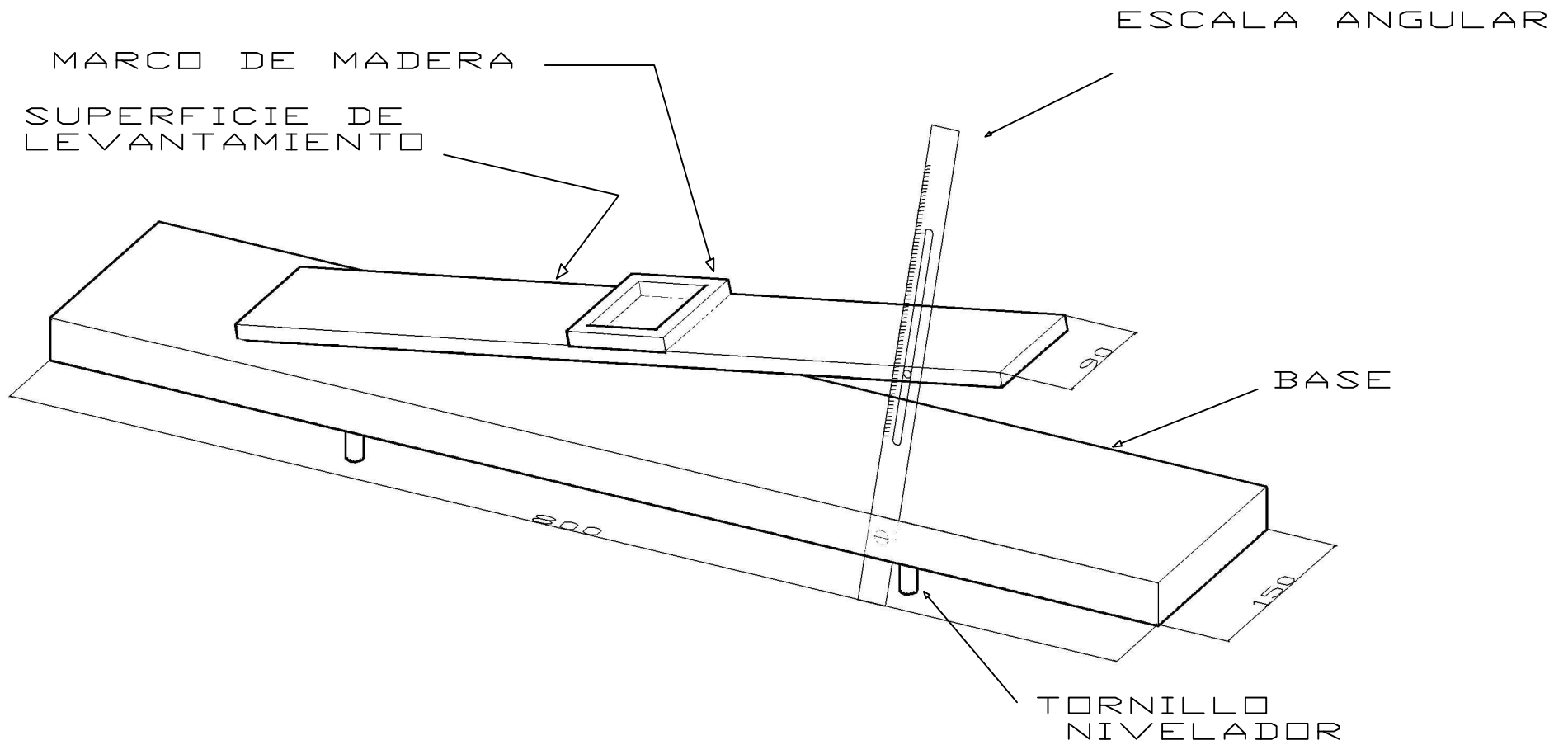
El friccionómetro utilizado fue del laboratorio de física de la Universidad Nacional del Altiplano de puno. Los costos de las pruebas son:

Superficie de acero galvanizado	:	S/. 50,00
Superficie de Concreto	:	40,00
Marco de Madera	:	<u>30,00</u>
TOTAL	:	S/. 120,00

3.5.4. Montaje del Equipo

Para las pruebas experimentales el equipo se montó de la siguiente manera:

- Nivelar el friccionómetro sobre una superficie horizontal sólido, con los tornillos de nivelación.
- La superficie de fricción (acero galvanizado o concreto) es sujeta adecuadamente a la superficie de levantamiento del friccionómetro.
- El marco de madera es colocado sobre la superficie de fricción, en el cual se llenará de muestra de cereal.
- El equipo queda en la disposición inicial para la realización de cada prueba, como se muestra en las figuras N° 3.5.2 y 3.5.3.



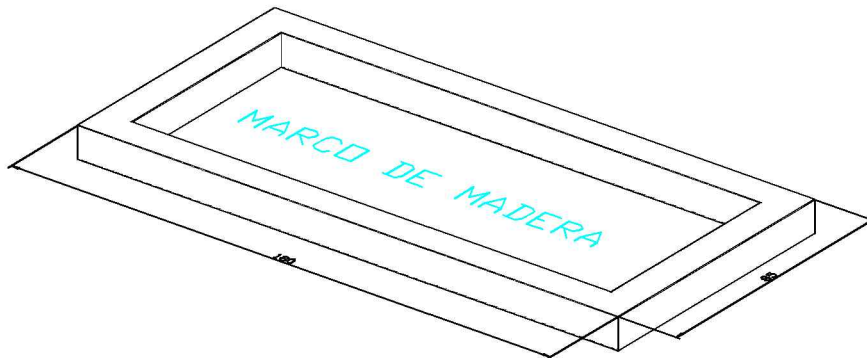
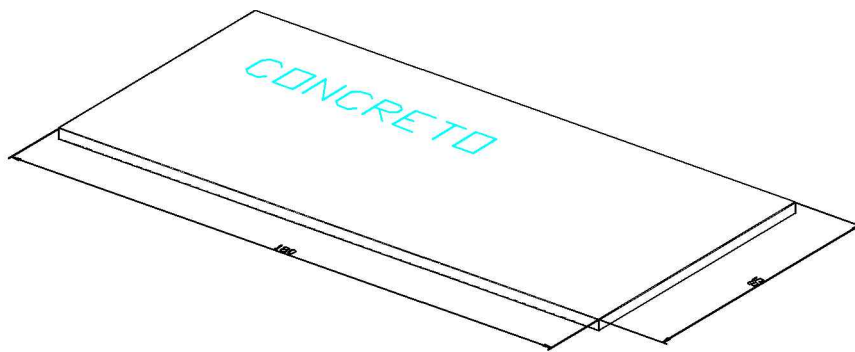
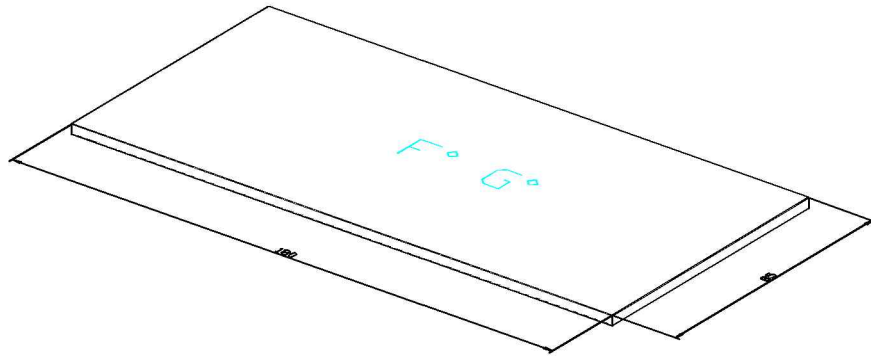
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 INGENIERIA MECANICA

PLANO:
 FIG. N° 3.5.2 FRICCIONOMETRO

ESCALA: 1:4

FECHA: 10/08/2011

DIBUJO:
 ARGANDOÑA CONDORI JULIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
INGENIERIA MECANICA

PLANO: FIG. N° 3.5.3 ADITAMENTOS PARA PRUEBAS EN EL FRICCIONMETRO

ESCALA: 1:3

FECHA: 10/08/2011

DIBUJO: ARGANDOÑA CONDORI JULIO

3.6. CONTENIDO DE HUMEDAD

3.6.1. Planteamiento del Método Experimental

El contenido de humedad del cereal es un aspecto importante que influye en los valores cuantitativos de los parámetros de diseño a determinar.

El método empleado para la medición del contenido de humedad fue el método del horno. Este método está basado en el secado de pesos conocidos de materiales en el horno, donde el contenido de humedad se calcula en base a la pérdida de peso del material secado.

Se determinará el contenido de humedad para tres muestras de cada cereal, colocándolos en el horno de una temperatura de 130°C y por un tiempo de 20 horas.

3.6.2. Equipo Empleado

Para la determinación del contenido de humedad se empleó un horno eléctrico y una balanza analítica del laboratorio de granos de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, cuyas características son:

- Horno (mufla) marca Thelco – modelo 16 cuya temperatura máxima es 200°C.
- Balanza analítica marca Mettler H10T

Peso máximo : 160 gramos

Aproximación : 4 decimales

3.6.3. Montaje del Equipo

Para las mediciones del contenido de humedad se trabajó con el Técnico del laboratorio, se prendió el horno y se reguló la temperatura de 130°C. se preparan las cápsulas o recipientes para colocar las muestras de los cereales.

La balanza analítica se dispone para pesar aproximadamente 5 gramos de cada muestra, quedando de esta manera tanto el horno como la balanza, listos para realizar las mediciones del contenido de humedad.

IV. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO AGROINDUSTRIAL DE LOS CEREALES

4.1. DENSIDAD MÁSCA

La denominación de densidad másica se utiliza en el sentido que no se determinará la densidad de un cereal unitario (muy pequeño), sino de una masa de cereales, que como es manipulado en las actividades agroindustriales.

La metodología propuesta para la determinación de la densidad másica se aplicará para la cebada, trigo y quinua.

4.1.1. Procedimiento

1. Se monta el equipo como se describió anteriormente.
2. Aproximadamente 60 mL (mililitros) de cereal es llenado en la tolva con forma de cono truncado.
3. La tapa del cono es abierta y las muestras del cereal fluyen libremente del cono y llenan el recipiente receptor.

4. El exceso de cereal del recipiente receptor es nivelado con una varilla cilíndrica a través de tres movimientos en zigzag.
5. La masa del cereal en el recipiente recibidos es determinado, pesando el cereal en el recipiente y restando luego el peso del recipiente (65,21 gr).

4.1.2. Toma de datos experimentales

El proceso de toma de datos experimentales para los tres cereales se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

Para cada cereal se tomó 50 datos, de los cuales descartando estadísticamente solo se consideró 40 para las tablas respectivas 4.1.

Las condiciones ambientales en Puno fueron:

- Presión atmosférica: 489 mm Hg
- Temperatura ambiente: 12°C
- Humedad relativa: 60%

El volumen del recipiente receptor es de 0,5 litros ó 0,0005 m³, el cual en cada toma de dato del volumen del cereal es llenado al ras, es decir completamente, el cual es pesado, restándose el peso del recipiente receptor vacío (65,21 gr).

Las masas para los tres cereales están tabulados en la tabla N° 4.1.1.

4.1.3. Cálculos y Resultados

Para calcular la densidad másica se utilizó la siguiente fórmula: +

$$\delta = \frac{m}{V} \quad \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

m : masa del cereal

V : volumen del cereal

El volumen del cereal para los cálculos es igual al volumen del recipiente receptor del cereal que es igual a 0,5 litros, que es el mismo para el cálculo de la densidad másica de los tres cereales.

Como ejemplo de cálculo, se determinará la primera densidad másica para la cebada:

$$m_1 = w_1 - w'_1 \quad (\text{Kg})$$

w_1 = peso del recipiente receptor lleno de cebada

w'_1 = peso del recipiente receptor vacío.

Los valores respectivos fueron:

$$w_1 = 387,71 \text{ gr}$$

$$w'_1 = 65,21 \text{ gr}$$

Entonces:

$$m_1 = 387,71 - 65,21$$

$$m_1 = 322,50 \text{ gr} = 322,50 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ L} = 0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Por consiguiente:

$$\delta_1 = \frac{322,50 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$\delta_1 = 645,00 \text{ Kg/m}^3$$

Análogamente se realizan los cálculos para los datos restantes de los tres cereales. Los cálculos y resultados se muestran en la tabla N° 4.1.1.

N°	CEBADA		TRIGO		QUINUA	
	m (gr)	δ (Kg/m ³)	m (gr)	δ (Kg/m ³)	m (gr)	δ (Kg/m ³)
1	322.50	645.00	392.35	784.70	356.35	712.70
2	313.15	626.30	387.35	774.70	359.05	718.10
3	325.59	651.18	390.15	780.30	358.95	717.90
4	320.10	640.20	387.95	775.90	357.95	715.90
5	322.65	645.30	388.15	776.30	361.05	722.10
6	319.45	638.90	389.15	778.30	357.05	714.10
7	321.15	642.30	390.65	781.30	359.25	718.50
8	319.20	638.40	387.85	775.70	359.65	719.30
9	318.10	636.20	391.65	783.30	360.05	720.10
10	324.35	648.70	337.15	774.30	355.55	711.10
11	322.95	645.90	391.15	782.30	358.45	716.90
12	321.95	643.90	386.85	773.70	355.05	710.10
13	323.95	647.90	386.15	772.30	358.05	716.10
14	320.35	640.70	390.65	781.30	360.75	721.50
15	318.85	637.70	389.15	778.30	357.25	714.50
16	323.85	647.70	391.35	782.70	359.75	719.50
17	321.15	642.30	388.65	777.30	359.35	718.70
18	321.65	643.30	389.35	778.70	358.35	716.70
19	519.15	638.30	390.65	781.30	359.65	719.30
20	319.05	638.10	389.85	779.70	357.15	714.30
21	319.85	639.70	391.65	783.30	360.65	721.30
22	317.15	634.30	389.85	779.70	355.35	710.70
23	322.35	644.70	391.85	783.70	358.35	716.70
24	322.15	644.30	392.65	785.30	356.45	712.90
25	316.05	632.10	391.35	782.70	358.85	717.70
26	319.55	639.10	387.65	775.30	360.65	721.30
27	321.25	642.50	388.45	776.90	356.85	713.70
28	319.55	639.10	387.35	774.70	361.25	722.50
29	319.75	639.50	390.95	781.90	560.85	721.70
30	321.15	642.30	388.65	777.30	361.85	723.70
31	320.35	640.70	389.95	779.90	361.85	723.70
32	325.35	650.70	386.95	773.90	360.35	721.70
33	325.55	651.10	391.15	782.30	360.65	721.30
34	322.85	645.70	391.65	783.30	359.75	719.50
35	323.05	646.10	391.35	782.70	361.35	722.70
36	319.65	639.30	391.15	782.30	359.85	719.70
37	321.15	642.30	392.65	785.30	359.05	718.10
38	326.25	652.50	390.95	781.90	360.35	720.70
39	319.25	638.50	391.15	782.30	361.65	723.30
40	319.95	639.90	389.95	779.90	360.15	720.30

Tabla N° 4.1.1. DENSIDADES MÁNICAS

Los cálculos para la media aritmética, desviación estándar y errores absoluto y porcentual de la densidad másica, se muestran en el siguiente cuadro utilizando las fórmulas 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10.

GRANO	M. ARITM. (\bar{X})	DESV. ESTÁND. (σ)	ERROR ABS. (ϵ_{ABS})	ERROR PORCEN. ($\epsilon\%$)
CEBADA	642.07	5.28	0.83	0.13
TRIGO	779.68	3.55	0.56	0.07
QUINUA	718.27	3.67	0.58	0.08

Cuadro N° 4.1.1. DENSIDADES MÁSCAS CALCULADAS

A continuación se muestran como referencia para comparación, las densidades másicas estándares obtenidas por otros investigadores e Instituciones Técnicas.

CEBADA		TRIGO	
Densidad másica estándar (kg/m ³)	REFERENCIAS	Densidad másica estándar (kg/m ³)	REFERENCIAS
687	RAMESHBABU, JAYAS, 1990	769	FARMHANDINDUSTRIAL PRODUCTS DIVISION, 1985
651	JHON GOSS, 1980	724-769	INDUSTRIAL MACHINERY COMPANY, 1991
640	JANSEN, 1991	785	LERENZEN, 1957
628	MUIR, SINHA, 1986	798	JHON GOSS, 1994
		708	MUIR, SINHA, 1986

Cuadro N° 4.1.2. DENSIDADES MÁSCAS REFERENCIALES.
(No existe información referente a la quinua)

4.2. DENSIDAD MÁSCA COMPACTADA

En los procesos de almacenaje de cereales en los silos, el cereal es dejado caer desde cierta altura, compactándose en cierto grado. Al cereal en este estado se le determinará la densidad másica compactada.

El equipo empleado es el mismo de la densidad másica, agregándole un tubo de PVC de 1,50 m de longitud entre la tolva y el recipiente receptor, que simula la altura de caída para producir el compactamiento del cereal.

La metodología propuesta para la determinación de la densidad másica compactada se aplicará experimentalmente en la cebada, trigo y quinua.

4.2.1. Procedimiento

1. Se monta el equipo como se describió anteriormente.
2. Aproximadamente 600 mililitros de muestra de cereal es llenado en la tolva con forma de cono truncado.
3. La tapa del cono es abierta, permitiendo al cereal caer libremente hacia abajo a través del tubo de PVC y llenando el recipiente receptor del cereal.
4. El exceso de cereal del recipiente receptor es nivelado con una varilla cilíndrica con tres movimientos en zigzag.
5. La masa del cereal en el recipiente receptor es determinado, pesando el recipiente lleno de cereal y restando luego el peso del recipiente vacío (65,21 gramos).

4.2.2. Toma de datos experimentales

El proceso de toma de datos experimentales para los tres cereales se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

Para cada cereal se tomó 50 datos, de los cuales descartando estadísticamente solo se consideró para la tabla 4.2.1. 40 datos.

Las condiciones ambientales en Puno fueron:

- Presión atmosférica: 489 mm Hg
- Temperatura ambiente: 12°C
- Humedad relativa: 60%

La determinación experimental de las masas compactadas se realizó de la misma manera que para la densidad másica. Las masas para los tres cereales están tabulados en la tabla N° 4.2.1.

4.2.3. Cálculos y Resultados

Para calcular la densidad másica compactada se utiliza la siguiente fórmula:

$$\delta = \frac{m}{V} \quad \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

m : masa del cereal

V : volumen del cereal

La determinación de la masa y volumen del cereal se realizó de la misma manera que para la densidad másica.

Como ejemplo de cálculo, se determinará la primera densidad másica compactada para el trigo:

$$m_1 = w_1 - w'_1 \quad (\text{Kg})$$

w_1 = peso del recipiente recibidos lleno de cebada

w'_1 = peso del recipiente recibidos vacío.

Los valores respectivos fueron:

$$w_1 = 460,60 \text{ gr}$$

$$w'_1 = 65,21 \text{ gr}$$

Entonces:

$$m_1 = 460,60 - 65,21$$

$$m_1 = 395,39 \text{ gr} = 395,39 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ L} = 0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Por consiguiente:

$$\delta_1 = \frac{395,39 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$\delta_1 = 790,78 \text{ Kg/m}^3$$

Análogamente se realizan los cálculos para los datos restantes de los tres cereales.

Los cálculos y resultados se muestran en la tabla N° 4.2.1.

N°	CEBADA		TRIGO		QUINUA	
	m (gr)	δ (Kg/m ³)	m (gr)	δ (Kg/m ³)	m (gr)	δ (Kg/m ³)
1	338.47	676.94	395.39	790.78	370.64	741.28
2	334.87	669.74	390.99	781.98	367.24	734.48
3	336.82	673.64	392.49	784.98	366.74	733.48
4	334.94	669.88	392.20	784.40	364.84	729.68
5	338.57	677.14	395.50	791.00	370.34	740.68
6	333.79	667.58	393.64	787.28	367.48	734.96
7	334.93	669.86	391.16	782.32	368.07	736.14
8	331.79	663.58	391.11	782.22	364.86	729.72
9	334.45	668.90	392.63	785.26	363.20	726.40
10	332.56	665.12	389.80	779.60	362.48	724.96
11	340.09	680.18	393.30	786.60	366.67	733.34
12	332.53	665.06	391.91	783.82	366.28	732.56
13	339.33	678.66	390.04	780.08	366.26	732.52
14	334.78	669.56	394.21	788.42	365.75	731.50
15	340.79	681.58	391.24	782.48	367.28	734.56
16	333,34	666.68	392.59	785,18	366.57	73.3.14
17	338.99	677.98	392.17	784.34	369.18	738.36
18	340.38	680.76	392.45	784.90	366.15	732.30
19	337.79	675.58	390.12	780.24	364.95	729.90
20	338.99	677.98	392.36	784.72	368.37	736.74
21	339.91	679.82	391.98	783.96	367.00	734.00
22	337.29	674.58	390.57	781.14	366.66	733.32
23	343.79	687.58	394.00	788.00	368.45	736.90
24	343.09	686.18	390.27	780.54	369.94	739.88
25	340.89	681.78	390.52	781.04	365.53	731.06
26	340.61	681.22	392.35	784.70	364.80	729.60
27	338.50	677.00	393.09	786.18	363.67	727.34
28	339.87	679.74	392.71	785.42	366.12	732.24
29	334.32	668.64	393.74	787.48	365.13	730.26
30	343.01	686.02	391.89	783.78	364.80	729.60
31	342.55	685.10	392.26	784.52	363.78	727.56
32	337.85	675.70	390.88	781.76	365.71	731.42
33	337.55	675.10	393.14	786.28	364.31	728.62
34	340.87	681.74	391.44	782.88	36230	724.60
35	339.96	679.92	391.97	783.94	368.32	736.64
36	340.49	680.98	395.32	790.64	36287	725.74
37	343.59	687.18	390.77	781.54	363.36	726.72
38	335.62	671.24	393.96	787.92	363.27	726.54
39	335.80	671.60	392.51	785.02	365.86	731.72
40	335.79	671.58	391.32	782.64	366.85	733.70

Tabla N° 4.2.1. DENSIDADES MÁNICAS COMPACTAS

Los cálculos para la media aritmética, desviación estándar y errores absoluto y porcentual de la densidad másica compacta, se muestran en el siguiente cuadro, aplicando las fórmulas 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10.

GRANO	M. ARITM. (\bar{X})	DESV. ESTÁND. (σ)	ERROR ABS. (ϵ_{ABS})	ERROR PORCEN. ($\epsilon\%$)
CEBADA	675.98	6.48	1.02	0.15
TRIGO	784.50	2.89	0.46	0.06
QUINUA	732.10	4.19	0.66	0.09

Cuadro N° 4.2.1. DENSIDADES MÁSCAS COMPACTAS

A continuación se muestran como referencia para comparación, las densidades másicas compactas obtenidas por otros investigadores e instituciones técnicas.

CEBADA		TRIGO	
Densidad másica estándar (kg/m ³)	REFERENCIAS	Densidad másica estándar (kg/m ³)	REFERENCIAS
715	RAMESHBABU, JAYAS, 1990	837	MUIR, SINHA, 1986
707	MUIR, SINHA, 1986	872	JANSEN, 1991
679	JANSEN, 1991		

Cuadro N° 4.2.2. DENSIDADES MÁSCAS COMPACTAS.
(No existe información referente a la quinua)

4.3. ÁNGULO DE REPOSO (VACIANDO)

El cereal almacenado en silos es vaciado en las tareas de post cosecha, amontonándose en relación a la horizontal, al ángulo máximo del talud formado por el cereal amontonado se le denomina ángulo de reposo, el que se determinará experimentalmente.

La metodología propuesta para la determinación del ángulo de reposo, vaciando el cereal, se aplicará para la cebada, trigo y quinua.

4.3.1. Procedimiento

1. Se monta el equipo como se describió anteriormente.
2. La caja es llenada con cereal hasta una altura aproximada de 350 mm.
3. Se abre la puerta inferior de 50 mm de altura y 200 mm de ancho, permitiendo fluir el grano y vaciando la caja.
4. En el instante que el flujo de cereal se detiene por sí solo, es medida las elevaciones (Y_1 ; Y_2) y la corrida del cereal (X) como se muestra en la figura N° 4.3.1.

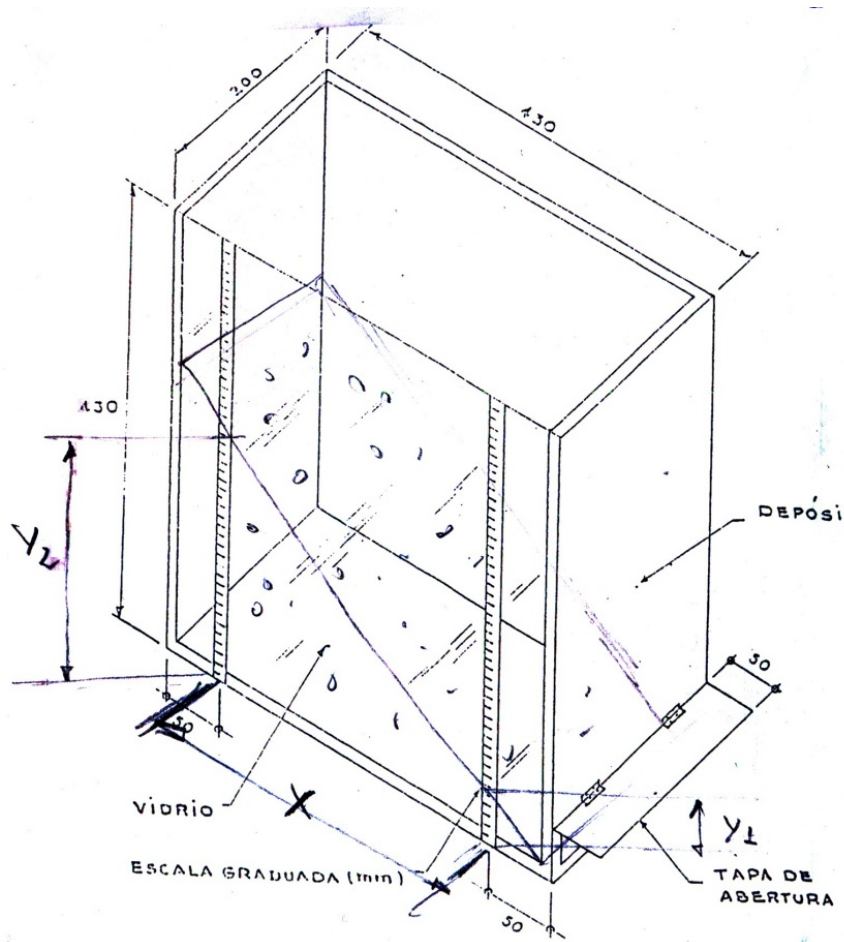


Figura N° 4.3.1. DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES Y_2 ; Y_1 ; X

4.3.2. Toma de datos experimentales

El proceso de toma de datos experimentales para los tres cereales se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

Para cada cereal se tomó 50 datos, como se muestra en la figura N° 4.3.1., de los cuales descartando estadísticamente solo se consideró 40; tablas N° 4.3.1; 4.3.2 y 4.3.3.

Las condiciones ambientales en Puno fueron:

- Presión atmosférica: 489 mm Hg
- Temperatura ambiente: 12°C
- Humedad relativa: 60%

4.3.3. Cálculos y Resultados

Para calcular el ángulo de reposo, vaciando el cereal, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\alpha = \operatorname{Tg}^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

Donde:

Y : elevación = $Y_2 - Y_1$ (cm)

X : Corrida del cereal (cm)

Para los cálculos del ángulo de reposo de los tres cereales, X se consideró constante e igual a 35 cm.

Como ejemplo de cálculo, se determinará el primer ángulo de reposo para la quinua:

$$Y_1 = 3,0 \text{ cm}$$

$$Y_2 = 25,5 \text{ cm}$$

Entonces:

$$Y = Y_2 - Y_1 = 25,5 - 3,0 = 22,5 \text{ cm}$$

$$X = 35 \text{ cm}$$

Por consiguiente:

$$\alpha = \operatorname{Tg}^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

$$\alpha = \operatorname{Tg}^{-1}\left(\frac{22,5}{35,0}\right)$$

$$\alpha = 32,73^\circ$$

Análogamente se realizan los cálculos para los datos restantes de los tres cereales.

Los cálculos y resultados se muestran en las tablas N° 4.3.1, 4.3.2 y 4.3.3.

N°	QUINUA			
	ELEVACIONES (cm)		ELEVACIÓN Y=Y2-Y1 (cm)	ANGULO DE REPOSO (grados)
	Y1	Y2		
1	3.00	25.50	22.50	32.74
2	2.90	25.40	22.50	32.74
3	3.10	25.30	22.20	32.39
4	3.00	25.30	22.30	32.50
5	3.10	25.20	22.10	32.27
6	3.00	25.30	22.30	32.50
7	2.90	25.00	22.10	32.27
8	3.00	25.20	22.20	32.39
9	2.90	25.10	22.20	32.39
10	3.00	25.00	22.00	32.15.
11	2.90	25.10	22.20	32.39
12	3.00	25.00	22.00	32.15
13	3.00	25.00	22.00	32.15
14	2.90	25.00	22.10	32.27
15	2.90	24.90	22.00	32.15
16	3.00	24.90	21.90	32.03
17	3.00	2480	21.80	32.92
18	3.00	24.90	21.90	32.03
19	2.90	24.80	21.90	32.03
20	3.00	24.80	21.80	31.92
21	3.10	25.60	22.50	32.74
22	3.00	25.60	22.60	32.85
23	3.00	25.70	22.70	32.97
24	3.00	25.60	22.60	32.85
25	3.00	25.70	22.70	32.97
26	2.90	25.50	22.60	32.85
27	2.90	25.50	22.60	32.85
28	2.90	25.40	22.50	32.74
29	3.00	25.40	22.40	32.62
30	3.00	25.40	22.40	32.62
31	2.90	25.30	22.40	32.62
32	3.00	25.40	22.40	32.62
33	3.00	25.40	22.40	32.62
34	2.90	25.20	22.30	32.50
35	2.90	25.30	22.40	32.62
36	3.00	25.10	22.10	62.27
37	3.00	25.50	22.50	32.74
38	3.00	25.40	22.40	3262
39	3.10	25.40	22.30	32.50
40	3.00	25.50	22.50	32.74

Tabla N° 4.3.1. ÁNGULOS DE REPOSO DE LA QUINUA

N°	CEBADA			
	ELEVACIONES (cm)		ELEVACIÓN Y=Y2-Y1 (cm)	ANGULO DE REPOSO (grados)
	Y1	Y2		
1	2.9	21.0	18.10	27.35
2	3.1	21.2	18.10	27.35
3	2.8	21.2	18.40	27.73
4	2.9	21.0	18.20	27.47
5	3.0	20.9	17.90	27.09
6	2.9	20.5	17.60	27.70
7	2.9	20.5	17.60	27.70
8	2.8	20.5	17.70	26.83
9	2.9	20.6	17.70	26.83
10	3.0	20.5	17.50	26.57
11	2.9	20.5	17.60	26.70
12	2.9	20.3	17.40	26.43
13	2.8	20.3	17.50	26.57
14	2.9	20.6	17.70	26.83
15	3.0	21.0	18.00	27.22
16	3.0	21.1	18.10	27.35
17	3.0	21.0	18.00	27.22
18	2.8	21.2	18.40	27.73
19	2.8	20.9	18.10	27.35
20	2.9	21.0	18.10	27.35
21	2.9	20.9	18.00	27.22
22	2.8	21.4	18.60	27.99
23	2.8	20.8	18.00	27.22
24	2.8	20.9	18.10	27.35
25	2.9	21.0	18.10	27.35
26	2.9	21.0	18.10	27.35
27	2.8	21.4	18.60	27.99
28	2.8	20.9	18.10	27.35
29	2.9	20.8	17.90	27.09
30	2.8	20.7	17.90	27.09
31	2.9	21.0	18.10	27.35
32	2.9	21.0	18.10	27.35
33	2.9	21.1	18.20	27.47
34	2.8	20.6	17.80	26.96
35	2.8	20.7	17.90	27.09
36	2.8	20.6	17.80	26.96
37	3.0	20.4	17.40	26.43
38	2.8	20.9	18.10	27.35
39	2.9	21.0	18.10	27.35
40	2.8	21.	18.30	27.60

Tabla N° 4.3.2. ÁNGULOS DE REPOSO DE LA CEBADA

N°	TRIGO			
	ELEVACIONES (cm)		ELEVACIÓN Y=Y2-Y1 (cm)	ANGULO DE REPOSO (grados)
	Y1	Y2		
1	2.90	20.70	17.80	26.96
2	3.00	21.00	18.00	27.22
3	2.90	20.80	17.90	27.09
4	2.80	20.80	18.00	27.22
5	3.00	20.70	17.70	26.83
6	2.90	20.70	17.80	26.96
7	2.90	20.80	17.90	27.09
8	2.80	20.60	17.80	26.96
9	2.90	20.70	17.80	26.96
10	2.80	20.60	17.80	26.96
11	2.80	20.70	17.90	27.09
12	2.80	20.80	18.00	27.22
13	2.90	20.70	17.80	26.96
14	2.80	20.50	17.70	26.83
15	2.90	20.70	17.80	26.96
16	2.80	20.60	17.80	26.96
17	2.90	20.60	17.70	26.83
18	2.80	20.80	18.00	27.22
19	2.90	20.80	17.90	27.09
20	2.80	20.60	17.80	26.96
21	2.70	20.70	18.00	27.22
22	2.70	20.50	17.80	26.96
23	2.80	20.70	17.90	27.09
24	2.70	20.70	18.00	27.22
25	2.70	20.50	17.80	26.96
26	2.90	20.50	17.60	26.70
27	2.70	20.50	17.80	26.96
28	2.70	20.40	17.70	26.83
29	2.70	20.40	17.70	26.83
30	2.80	20.70	17.90	27.09
31	2.90	20.40	17.50	26.57
32	2.80	20.60	17.80	26.96
33	2.80	20.50	17.70	26.83
34	2.80	20.40	17.60	26.70
35	2.70	20.50	17.80	26.96
36	2.90	20.00	17.10	26.04
37	2.70	20.70	18.00	27.22
38	2.70	20.80	18.10	27.35
39	2.80	20.70	17.90	27.09
40	2.90	20.40	17.50	26.57

Tabla N° 4.3.3. ÁNGULOS DE REPOSO DEL TRIGO

Los calculas para la media aritmética, desviación estándar y errores absoluto y porcentual del ángulo de reposo cuando el grano está vaciando del depósito, se muestran en el siguiente cuadro. Estas se obtuvieron aplicando las formulas 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10.

GRANO	M. ARITM. (\bar{X})	DESV. ESTÁND. (σ)	ERROR ABS. (ϵ_{ABS})	ERROR PORCEN. ($\epsilon\%$)
CEBADA	27.18	0.38	0.06	0.22
TRIGO	26.96	0.23	0.04	0.13
QUINUA	32.48	0.29	0.05	0.14

Cuadro N° 4.3.1. ÁNGULOS DE REPOSO CALCULADOS

A continuación se muestran como referencia para la comparación de los ángulos de reposo (vaciando el depósito), obtenidos por otros investigadores e instituciones técnicas.

CEBADA		TRIGO	
Ángulo de reposo (°)	REFERENCIAS	Ángulo de reposo (°)	REFERENCIAS
HASTA 30	MANUAL LINK - BELT	HASTA 30	MANUAL LINK - BELT
25.7	RAMESHBABU, JAYAS , 1991	29.6	LORENZEN, 1957
28	Stahl, 1950	27	Stahl, 1950
29	JANSEN, 1991	24	JANSEN, 1991
26	MUIR, SINHA, 1986	23	MUIR, SINHA, 1986

Cuadro N° 4.3.2. ÁNGULOS DE REPOSO REFERENCIALES.
(No existe información referente a la quinua)

4.4. ÁNGULO DE REPOSO (LLENADO)

Cuando se está llenando un silo con cereales, estos forman un montículo de dos taludes, el ángulo del talud con respecto a la horizontal es el ángulo de reposo que se determina midiendo la elevación del talud (longitud vertical) y al corrida del grano (longitud horizontal).

La metodología propuesta para la determinación del ángulo de reposo, llenando el cereal, se aplicará para la cebada, trigo y quinua.

4.4.1. Procedimiento

1. Se monta el equipo como se describió anteriormente.
2. Se procede a llenar la tolva con una cantidad necesaria de cereal, de tal manera que al caer dentro de la caja, los taludes que se formen con la comida de los cereales no lleguen a chocar a las paredes laterales opuestas.
3. Se abre la tapa deslizante de la tolva rápidamente, entonces el cereal fluirá, cayendo dentro de la caja formando un montículo triangular, la parte inferior de los taludes no deben chocar contra las paredes laterales, para que no alteren el ángulo de reposo a determinar.
4. Luego se procede a medir las elevaciones con los taludes, a 160 mm y 460 mm respectivamente de las paredes laterales de la caja. Estas distancias aseguran que se midan las elevaciones a una distancia adecuada del vértice del montículo.
5. Las corridas del grano o distancias horizontales, se mantienen constantes (son las distancias entre las escalas verticales donde se miden las elevaciones del talud).
6. En base a las medidas anteriores se procede a calcular el ángulo de reposo, estas se muestran en la figura N° 4.4.1.

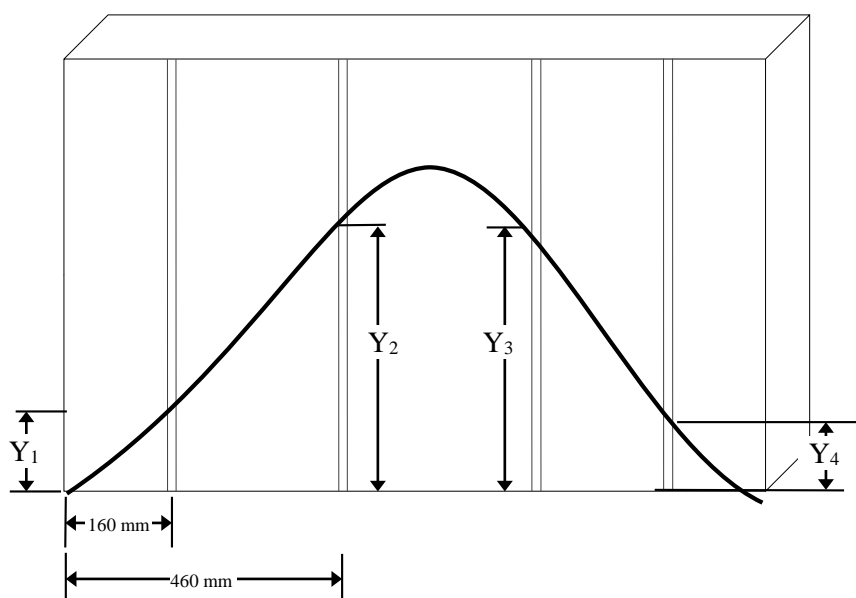


Figura 4.4.1. LONGITUDES PARA CALCULAR EL ÁNGULO DE REPOSO.

4.4.2. Toma de datos experimentales

El proceso de toma de datos experimentales para los tres cereales se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

Para cada cereal se tomó 50 datos, como se muestra en la figura N° 4.3.1, de los cuales descartando estadísticamente solo se consideró 40 para las tablas N° 4.4.1; 4.4.2 y 4.4.3.

Las condiciones ambientales en Puno fueron:

- Presión atmosférica: 490 mm Hg
- Temperatura ambiente: 12°C
- Humedad relativa: 60%

4.4.3. Cálculos y Resultados

Para calcular el ángulo de reposo, llenando el cereal, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\alpha = \text{Tg}^{-1}\left(\frac{\bar{Y}}{X}\right)$$

Donde:

$$\bar{Y} = \text{elevación} = (Y' + Y'')/2 \text{ (cm)}$$

$$Y' = Y_2 - Y_1 \text{ (cm)}$$

$$Y'' = Y_3 - Y_4 \text{ (cm)}$$

X : Corrida del cereal

Para los cálculos del ángulo de reposo de los tres cereales, X se consideró constante e igual a 30 cm.

Como ejemplo de cálculo, se determinará el primer ángulo de reposo para la cebada:

$$Y_2 = 19,9 \text{ cm}$$

$$Y_3 = 18,1 \text{ cm}$$

$$Y_1 = 6,0 \text{ cm}$$

$$Y_4 = 3,5 \text{ cm}$$

$$Y' = 19,9 - 6,0$$

$$Y'' = 18,1 - 3,5$$

$$Y' = 13,9 \text{ cm}$$

$$Y'' = 14,6 \text{ cm}$$

Entonces:

$$\bar{Y} = \frac{13,9 + 14,6}{2} = 14,25 \text{ cm}$$

$$X = 30 \text{ cm}$$

Por consiguiente:

$$\alpha = \text{Tg}^{-1}\left(\frac{14,25}{30}\right)$$

$$\alpha = 25,41^\circ$$

Análogamente se realizan los cálculos para los datos restantes de los tres cereales.

Los cálculos y resultados se muestran en las tablas N° 4.4.1, 4.4.2 y 4.4.3.

Nº	CEBADA							ANGULO DE REPOSO Alpha (grados)
	ELEVACIONES						ELEVACIÓN PROMEDIO $Y=(Y+Y')/2$ (cm)	
	Y1 (cm)	Y2 (cm)	ELEVACIÓN $Y=Y2-Y1$ (cm)	Y3 (cm)	Y4 (cm)	ELEVACIÓN $Y=Y2-Y1$ (cm)		
1	6.00	19.90	13.90	18.10	3.50	14.60	14.25	25.41
2	5.90	16.40	10.50	16.50	3.60	12.90	11.70	21.31
3	4.20	16.30	12.10	16.00	3.10	12.90	12.50	22.52
4	4.90	16.70	11.80	15.40	3.00	12.40	12.10	21.97
5	3.90	16.60	12.70	15.30	4.50	10.80	11.75	21.39
6	3.50	15.80	12.30	16.00	4.00	12.00	12.15	22.05
7	4.50	15.10	10.60	16.00	3.50	12.50	11.55	21.06
8	3.90	16.20	12.30	15.30	3.00	12.30	12.30	22.29
9	2.20	15.80	13.60	15.40	4.50	10.90	12.25	22.21
10	4.60	16.10	11.50	14.60	3.10	11.50	11.50	20.97
11	3.70	15.10	11.40	15.80	4.00	11.80	11.60	21.17
12	4.00	16.10	12.10	14.70	3.40	11.30	11.70	21.31
13	3.90	14.60	10.70	15.50	3.80	11.70	11.20	20.47
14	3.80	16.00	12.20	14.80	3.70	11.10	11.65	21.22
15	3.30	15.40	12.10	15.00	3.80	10.20	11.15	20.39
16	4.30	16.00	11.70	14.50	3.50	11.00	11.35	20.72
17	3.50	16.10	12.60	14.80	3.90	11.00	11.80	21.47
18	4.50	15.80	11.30	14.20	3.80	10.40	10.85	19.88
19	5.00	15.00	10.00	14.90	3.80	11.10	10.55	19.38
20	3.90	16.00	12.10	14.70	3.80	10.90	11.50	20.97
21	4.80	15.90	11.10	14.80	2.50	12.30	11.70	21.31
22	5.00	15.90	10.90	14.60	2.50	11.80	11.35	20.72
23	4.00	16.00	12.00	14.40	3.80	10.60	11.30	20.64
24	4.30	15.20	10.90	15.50	3.80	11.70	11.30	20.64
25	4.80	15.90	11.10	15.00	3.50	11.50	11.30	20.64
26	3.60	16.00	12.40	15.60	3.40	12.20	12.30	22.29
27	4.60	15.00	10.40	14.60	4.00	10.60	10.50	19.29
28	4.00	15.90	11.90	14.50	2.00	12.50	12.20	22.13
29	4.50	14.90	10.40	15.40	3.60	11.80	11.10	20.30
30	4.10	16.20	12.10	15.80	3.00	12.80	12.45	22.54
31	3.50	15.90	12.40	15.00	3.00	12.00	12.20	22.13
32	3.60	14.90	11.30	15.10	4.70	10.40	10.85	19.88
33	3.90	16.00	12.10	14.50	3.40	11.10	11.60	21.14
34	4.20	16.10	11.90	14.60	3.00	11.60	11.75	22.39
35	3.80	15.60	11.80	15.10	2.70	12.40	12.10	21.97
36	4.30	15.50	11.20	15.00	2.90	12.10	11.65	21.22
37	4.90	15.90	11.00	14.20	2.80	11.40	11.20	20.47
38	2.90	15.10	12.20	15.40	4.00	11.40	11.80	21.47
39	3.80	15.00	11.20	15.10	4.10	11.00	11.10	20.30
40	4.40	16.00	11.60	14.60	3.40	11.20	11.40	20.81

Cuadro N° 4.4.1. ÁNGULOS DE REPOSO DE LA CEBADA

N°	QUINUA							ANGULO DE REPOSO Alpha (grados)
	ELEVACIONES						ELEVACIÓN PROMEDIO $Y=(Y+Y')/2$ (cm)	
	Y1 (cm)	Y2 (cm)	ELEVACIÓN $Y=Y2-Y1$ (cm)	Y3 (cm)	Y4 (cm)	ELEVACIÓN $Y=Y2-Y1$ (cm)		
1	5.50	22.50	17.00	21.60	3.90	17.70	17.35	30.04
2	4.40	22.50	18.10	21.70	5.70	16.00	17.05	29.61
3	5.40	23.50	18.10	20.90	5.20	15.70	16.90	29.39
4	3.40	21.80	18.40	21.90	6.80	15.10	16.75	29.18
5	4.30	22.30	18.00	20.90	6.70	14.20	16.10	28.22
6	4.90	22.70	17.80	20.80	6.60	14.20	16.00	28.07
7	5.90	20.90	15.00	23.20	4.40	18.80	16.90	29.39
8	3.30	22.50	19.20	22.30	6.50	15.80	17.50	30.26
9	4.40	22.10	17.70	22.40	5.70	16.70	17.20	29.83
10	4.20	22.20	18.00	22.40	6.10	16.30	17.15	29.76
11	4.40	22.30	17.90	22.10	5.50	16.60	17.25	29.90
12	5.00	21.30	16.30	22.70	5.20	17.50	16.90	29.39
13	5.20	21.30	16.1	22.50	5.30	17.20	16.65	29.03
14	5.00	22.70	17.70	22.80	6.00	16.80	17.25	29.90
15	4.90	23.20	18.30	22.60	6.20	16.40	17.35	30.04
16	5.60	21.80	16.20	24.00	4.50	19.50	17.85	30.75
17	5.50	22.00	16.50	24.00	4.40	19.60	18.05	31.03
18	5.60	21.90	16.30	23.30	5.40	17.90	17.10	29.68
19	5.20	22.50	17.30	23.30	5.30	18.00	17.65	30.47
20	5.00	22.80	17.80	23.50	5.40	18.10	17.95	30.89
21	5.00	22.70	17.70	23.40	5.60	17.80	17.75	30.61
22	3.60	21.80	18.20	22.80	7.90	14.90	16.55	28.88
23	4.90	23.00	18.10	22.40	6.10	16.30	17.20	29.83
24	4.10	21.30	17.20	23.80	7.00	16.80	17.00	29.54
25	5.20	22.80	17.60	23.20	5.40	17.80	17.70	30.54
26	5.40	22.50	17.10	23.60	4.50	19.10	18.10	31.10
27	5.80	22.20	16.40	23.00	5.30	17.70	17.05	29.61
28	6.00	21.40	15.40	24.20	4.90	19.30	17.35	30.04
29	5.00	23.00	18.00	23.30	5.00	18.30	18.15	31.17
30	5.50	23.00	17.50	23.50	4.70	18.80	18.15	31.17
31	5.40	22.30	16.90	23.20	4.80	18.40	17.65	30.47
32	5.70	22.30	16.60	23.50	4.10	19.40	18.00	30.96
33	5.50	22.00	16.50	23.50	4.50	19.00	17.55	30.61
34	6.20	21.80	15.60	23.70	3.90	19.80	17.70	30.54
35	6.20	22.10	15.90	23.50	3.50	20.00	17.95	30.89
36	5.40	22.10	16.70	23.80	5.00	18.80	17.75	30.61
37	5.30	22.40	17.10	23.30	5.20	18.10	17.60	30.40
38	6.10	21.30	15.20	23.70	4.70	19.00	17.10	29.68
39	5.80	22.30	16.50	23.50	4.80	18.70	17.60	30.40
40	5.60	21.90	16.30	23.50	4.60	18.90	17.60	30.40

Cuadro N° 4.4.2. ÁNGULOS DE REPOSO DE LA QUINUA

Nº	TRIGO							ANGULO DE REPOSO Alpha (grados)
	ELEVACIONES						ELEVACION PROMEDIO $Y=(Y+Y')/2$ (cm)	
	Y1 (cm)	Y2 (cm)	ELEVACION $Y=Y2-Y1$ (cm)	Y3 (cm)	Y4 (cm)	ELEVACION $Y=Y2-Y1$ (cm)		
1	4.20	20.80	16.60	21.00	4.90	16.10	16.35	28.59
2	5.90	19.10	13.20	20.90	5.50	15.40	14.30	25.49
3	4.90	20.80	15.90	20.00	5.50	14.50	15.20	26.87
4	4.10	18.90	14.80	21.50	6.10	15.30	15.05	26.64
5	5.90	19.30	13.40	20.80	5.40	15.40	14.40	25.64
6	5.80	19.00	13.20	21.50	5.00	16.50	14.85	26.34
7	5.20	18.90	13.70	20.60	5.30	16.30	15.00	26.57
8	5.80	19.00	13.20	20.70	5.50	15.20	14.20	25.33
9	60.60	19.00	12.40	20.80	5.00	15.80	14.10	25.17
10	5.40	18.90	12.70	21.80	6.10	15.70	14.20	25.33
11	5.40	20.20	14.80	20.10	5.20	14.90	14.85	26.34
12	6.20	20.20	14.00	20.50	3.60	16.90	15.45	27.25
13	5.60	19.10	13.50	21.40	4.80	16.60	15.05	26.64
14	5.40	21.10	15.70	20.00	4.00	16.00	15.85	27.85
15	5.50	19.90	14.40	21.10	3.40	17.70	16.05	28.15
16	6.60	18.90	12.30	21.00	4.60	16.40	14.35	25.56
17	5.00	20.00	15.00	20.80	5.00	15.80	15.40	27.17
18	5.10	19.40	14.30	21.40	5.10	16.30	15.30	27.02
19	4.30	21.10	16.80	19.90	6.00	13.90	15.35	27.10
20	5.40	20.00	14.60	20.50	4.10	15.80	15.20	26.87
21	4.00	19.50	15.50	21.00	5.50	15.50	15.50	27.32
22	4.40	21.10	16.70	18.90	5.70	13.20	14.95	26.49
23	5.90	21.00	15.10	20.10	4.00	16.10	15.60	27.47
24	5.90	20.10	14.20	20.30	4.60	15.70	14.74	26.49
25	4.50	19.90	15.40	20.50	5.70	14.80	15.10	26.72
26	3.90	20.70	16.80	20.20	5.50	14.70	15.75	27.70
27	5.00	20.60	15.60	19.80	6.20	13.60	14.60	25.95
28	6.10	18.90	12.80	21.20	4.90	16.30	14.55	25.87
29	4.70	19.00	14.30	21.10	5.60	15.50	14.90	26.41
30	6.00	20.00	14.00	20.80	4.30	16.50	15.25	26.95
31	5.20	19.40	14.20	20.50	5.50	15.00	14.60	25.95
32	5.80	20.80	15.00	19.10	5.30	13.80	14.40	25.64
33	5.50	19.60	14.10	21.00	4.40	16.60	15.35	27.10
34	3.80	20.80	17.00	20.20	5.50	14.70	15.85	27.85
35	5.80	20.60	14.80	19.50	4.80	14.70	14.75	26.18
36	5.20	20.90	15.70	19.50	4.20	15.40	15.55	27.40
37	6.00	20.00	14.00	20.50	4.00	16.50	15.25	26.95
38	4.70	20.20	15.50	20.10	5.90	14.20	14.85	26.34
39	6.10	20.40	14.30	19.70	3.40	16.30	15.30	27.02
40	5.50	20.10	14.60	20.00	5.50	14.50	14.55	25.87

Cuadro N° 4.4.3. ÁNGULOS DE REPOSO DEL TRIGO

Los cálculos para la media aritmética, desviación estándar y errores absoluto y porcentual del ángulo de reposo, cuando el cereal está llenando el depósito, se muestran en el siguiente cuadro. Estos se obtuvieron utilizando las formulas 2.7, 2.8, 2.9 y 2.10.

GRANO	M. ARITM. (\bar{X})	DESV. STAND. (σ)	ERROR ABS. (ϵ_{Abs})	ERROR PORCT. ($\epsilon_{\%}$)
CEBADA	21.24	1.05	0.17	0.78
TRIGO	26.61	0.81	0.13	0.48
QUINUA	30.06	0.75	0.12	0.39

Cuadro N° 4.4.1. ÁNGULOS DE REPOSO CALCULADOS

A continuación se muestran como referencia, para la comparación, los ángulos de reposo (llenando el depósito), obtenidos por otros investigadores e instituciones técnicas.

CEBADA		TRIGO	
Angulo de reposo (°)	REFERENCIAS	Angulo de reposo (°)	REFERENCIAS
23.8	RAMESHBABU, JAYAS, 1991	24	JANSEN, 1991
HASTA 30	MANUAL LINK - BELT	HASTA 30	MANUAL LINK - BELT
20	Stahl, 1950	23	Stahl, 1950
24	MUIR, SINHA, 1986	28	MUIR, SINHA, 1986
25	JANSEN, 1991		

Cuadro N° 4.4.2. ÁNGULOS DE REPOSO REFERENCIALES

(No existe información referente a la quinua).

4.5. COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO

La determinación experimental del coeficiente estático de los cereales, estará basado en la teoría completamente demostrada que el coeficiente es igual a la tangente del ángulo de un plano inclinado.

Por lo expuesto anteriormente, para la determinación experimental del coeficiente de fricción estático se empleará un friccionómetro de la marca Leybold.

La metodología propuesta para la determinación del coeficiente de fricción estático sobre superficies de acero galvanizado y concreto, se aplicará para los tres cereales.

4.5.1. Procedimiento

1. Se monta el equipo como se describió anteriormente.
2. El marco de madera es llenado con la muestra del cereal respectivo y se nivela la superficie del cereal al ras.
3. El marco de madera es levantado lentamente a una altura aproximada de 2 a 3 mm para que el marco no descansa sobre la superficie del friccionómetro.
4. Usando el tornillo manual del friccionómetro, la superficie es inclinada lentamente hasta que la muestra del cereal comience a deslizarse.
5. El ángulo de inclinación de la superficie es medida usando la escala angular del friccionómetro.
6. El coeficiente de fricción estático es calculado como la tangente del ángulo medido.

4.5.2. Toma de datos experimentales

El proceso de toma de datos experimentales para los tres cereales se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito anteriormente.

Para cada cereal se tomó 50 datos, de los cuales descartando estadísticamente solo se consideró 40 para las tablas respectivas 4.5.

Las condiciones ambientales en Puno fueron:

- Presión atmosférica: 490 mm Hg
- Temperatura ambiente: 12°C
- Humedad relativa: 60%

4.5.3. Cálculos y Resultados

Para calcular el coeficiente de fricción, se utilizó la siguiente fórmula:

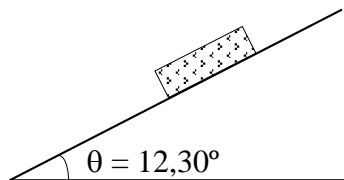
$$\mu_s = \text{Tg } \theta$$

Donde:

θ = ángulo del plano inclinado

μ_s = Coeficiente de fricción estático

Como ejemplo de cálculo, se determinará el primer coeficiente de fricción estático para la cebada sobre una superficie de acero galvanizado:



Entonces:

$$\mu_s = \text{tg } (12,30^\circ)$$

$$\mu_s = 0,22$$

Análogamente se realizan los cálculos para los datos restantes de los tres cereales.

Los cálculos y resultados se muestran en las tablas N° 4.5.1 y 4.5.2.

N°	CEBADA		TRIGO		QUINUA	
	ÁNGULOS (grados)	COEFIC. DE FRICCIÓN (u)	ÁNGULOS (grados)	COEFIC. DE FRICCIÓN (u)	ÁNGULOS (grados)	COEFIC. DE FRICCIÓN (u)
1	12.30	0.22	16.80	0.30	16.20	0.29
2	12.30	0.22	15.80	0.28	16.20	0.29
3	12.20	0.22	15.30	0.27	15.60	0.28
4	11.80	0.21	15.80	0.28	16.10	0.29
5	12.30	0.22	15.50	0.28	16.10	0.29
6	13.30	0.24	16.50	0.30	15.80	0.28
7	12.90	0.23	16.10	0.29	15.80	0.28
8	12.80	0.23	16.60	0.30	16.20	0.29
9	12.50	0.22	15.90	0.28	15.60	0.28
10	12.40	0.22	14.30	0.25	15.80	0.28
11	12.60	0.22	15.30	0.27	15.80	0.28
12	11.90	0.21	15.20	0.27	14.80	0.26
13	12.00	0.21	14.80	0.26	15.60	0.28
14	12.60	0.22	14.60	0.26	15.90	0.28
15	12.80	0.23	14.80	0.26	15.60	0.28
16	12.20	0.22	14.50	0.26	15.90	0.28
17	12.30	0.22	14.30	0.25	16.00	0.29
18	11.90	0.21	14.80	0.26	15.60	0.28
19	11.30	0.20	14.90	0.27	15.80	0.28
20	10.80	0.19	14.30	0.25	16.00	0.29
21	12.30	0.22	14.20	0.25	15.80	0.28
22	12.40	0.22	14.30	0.25	15.70	0.28
23	12.30	0.22	14.30	0.25	15.50	0.28
24	12.50	0.22	14.20	0.25	15.80	0.28
25	11.30	0.20	14.30	0.25	15.90	0.28
26	12.00	0.21	14.20	0.25	15.10	0.27
27	11.50	0.20	13.80	0.25	15.30	0.27
28	12.10	0.21	13.30	0.24	15.40	0.28
29	12.20	0.22	13.50	0.24	15.60	0.28
30	11.70	0.21	13.70	0.24	15.50	0.28
31	11.80	0.21	14.30	0.25	15.80	0.28
32	11.70	0.21	14.80	0.25	15.70	0.28
33	11.80	0.21	13.30	0.24	15.70	0.28
34	11.70	0.21	13.20	0.23	15.50	0.28
35	11.20	0.20	12.80	0.23	15.60	0.28
36	11.90	0.21	13.70	0.24	15.80	0.28
37	12.30	0.22	14.60	0.26	15.50	0.28
38	11.20	0.20	13.30	0.24	15.40	0.28
39	11.90	0.21	13.80	0.25	15.70	0.28
40	11.70	0.21	13.30	0.24	15.80	0.28

Tabla N° 4.5.1. COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO

Superficies: Acero galvanizado – cereal

Nº	CEBADA		TRIGO		QUINUA	
	ÁNGULOS (grados)	COEFIC. DE FRICCIÓN (u)	ÁNGULOS (grados)	COEFIC. DE FRICCIÓN (u)	ÁNGULOS (grados)	COEFIC. DE FRICCIÓN (u)
1	21.70	0.40	19.00	0.34	23.50	0.43
2	21.20	0.39	20.00	0.36	24.50	0.46
3	21.50	0.39	19.20	0.35	24.60	0.46
4	21.50	0.39	20.30	0.37	23.00	0.42
5	21.00	0.38	19.50	0.35	24.70	0.46
6	20.50	0.37	18.50	0.33	22.20	0.41
7	21.25	0.39	18.80	0.34	24.80	0.46
8	20.50	0.37	18.90	0.34	25.00	0.47
9	20.60	0.38	19.30	0.35	25.20	0.47
10	20.50	0.37	19.30	0.35	25.10	0.47
11	20.40	0.37	20.20	0.37	24.20	0.45
12	20.00	0.36	20.70	0.38	24.10	0.45
13	21.00	0.38	18.90	0.34	23.40	0.43
14	20.50	0.37	20.00	0.36	23.50	0.43
15	20.20	0.37	19.00	0.34	23.60	0.44
16	21.80	0.40	19.90	0.36	24.40	0.45
17	20.20	0.37	19.40	0.35	25.10	0.47
18	19.90	0.36	19.00	0.34	24.00	0.45
19	21.00	0.38	18.50	0.33	24.10	0.45
20	20.80	0.38	19.41	0.35	22.00	0.40
21	19.90	0.36	19.60	0.36	24.80	0.46
22	21.50	0.39	20.00	0.36	24.20	0.45
23	19.60	0.36	20.20	0.37	24.50	0.46
24	20.20	0.37	17.00	0.31	23.20	0.43
25	20.50	0.37	18.90	0.34	24.70	0.46
26	21.00	0.38	20.60	0.38	24.60	0.46
27	20.60	0.38	19.00	0.34	24.00	0.45
28	19.90	0.36	19.90	0.36	25.50	0.48
29	19.70	0.36	20.20	0.37	24.70	0.46
30	19.80	0.36	18.60	0.34	23.60	0.44
31	20.40	0.37	18.90	0.34	23.90	0.44
32	21.50	0.39	20.00	0.36	23.40	0.43
33	20.50	0.37	18.00	0.32	24.60	0.46
34	19.70	0.36	17.50	0.32	25.20	0.47
35	21.20	0.39	09.20	0.35	24.00	0.45
36	20.60	0.38	19.70	0.36	24.90	0.46
37	21.00	0.38	18.00	0.32	25.00	0.47
38	19.60	0.36	18.50	0.33	24.80	0.46
39	21.20	0.39	19.00	0.34	24.20	0.45
40	21.50	0.39	19.90	0.36	24.50	0.46

Tabla N° 4.5.2. COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICO

Superficies: acero galvanizado – cereal

Los cálculos para la media aritmética, desviación estándar y errores absoluto y porcentual del coeficiente de fricción estático sobre diferentes superficies, se muestran en el siguiente cuadro, se utilizaron las formulas 2.7 a 2.10.

GRANO	CONCRETO - GRANO				ACERO GALVANIZADO - GRANO			
	M. ARIT. \bar{X}	DESV. STAN σ	E. ABS ϵ_{ABS}	E. PORC. $\epsilon\%$	M. ARIT. \bar{X}	DESV. STAN σ	E. ABS ϵ_{ABS}	E. PORC. $\epsilon\%$
CEBADA	0.38	0.01	0.002	0.416	0.21	0.01	0.002	0.0753
TRIGO	0.35	0.02	0.003	0.913	0.26	0.02	0.003	1.216
QUINUA	0.45	0.02	0.003	0.702	0.28	0.01	0.002	0.565

Cuadro N° 4.5.1 COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICOS CALCULADOS

A continuación se muestran como referencia para su comparación posterior, los coeficientes de fricción estático obtenidos por otros investigadores e instituciones técnicas.

CONCRETO – CEREAL			
CEBADA		TRIGO	
COEFICIENTE FRICCIÓN ESTÁTICO	REFERENCIAS	COEFICIENTE FRICCIÓN ESTÁTICO	REFERENCIAS
0.39	RAMESHBABU, JAYAS, 1991	0.45	LORENZEN, 1957
0.50	BRUBAKER, 1965	0.31	BRUBAKER, 1965
0.30	JANSEN, 1991	0.26	JANSEN, 1991
0.38	MUIR, SINHA, 1986	0.39	MUIR, SINHA, 1986

Cuadro N° 4.5.2. COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICOS REFERENCIALES.

Superficies: Concreto – Cereal

(No existe información referente a la quinua)

ACERO GALVANIZADO – GRANO			
CEBADA		TRIGO	
COEFICIENTE FRICCIÓN ESTÁTICO	REFERENCIAS	COEFICIENTE FRICCIÓN ESTÁTICO	REFERENCIAS
0.25	RAMESHBABU, JAYAS , 1991	0.22	LORENZEN, 1957
0.20	BRUBAKER, 1965	0.30	MUIR, SINHA, 1986
0.29	MUIR, SINHA, 1986	0.23	JANSEN, 1991
0.21	JANSEN, 1991		

**Cuadro N° 4.5.3. COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICOS
REFERENCIALES.**

Superficies: Acero Galvanizado – Cereal

(No existe información referente a la quinua)

4.6. CONTENIDO DE HUMEDAD

Para la determinación de los parámetros de diseño agroindustriales se consideró el contenido de humedad de los cereales por ser un aspecto que incide fundamentalmente en los valores cuantitativos de los parámetros.

Se empleó el método del horno, para lo cual fue necesario:

- Horno marca Thelco, modelo 16 de precisión científica, cuya máxima temperatura es 200°C.
- Balanza analítica, marca Mettler HIOT, peso máximo 160 gr, con aproximación de 4 decimales.

4.6.1. Procedimiento

1. Se prepara el horno y la balanza analítica adecuadamente.
2. Se pesa en la balanza las cápsulas vacías donde se colocaron las muestras de cereales.
3. Se pesa tres muestras “frescas” de cada cereal con un peso aproximado de 5 gr; colocándolos luego en las cápsulas o recipientes.
4. Se introduce en el horno las tres muestras de los cereales.
5. Se mantiene en el horno las muestras por un periodo de 20 horas a una temperatura de 130°C.
6. Cumplido el tiempo de secado, se sacan las muestras y se colocan en un recipiente desecador donde se refrescan a la temperatura de laboratorio durante un periodo de 1 hora.
7. Luego se pesa cada muestra seca con el recipiente incluido.
8. La pérdida en peso de cada muestra se determina y usa para calcular el contenido de humedad.

4.6.2. Toma de datos experimentales

Por la naturaleza de la determinación experimental del contenido de humedad en los cereales, se tomaron tres muestras frescas de cada cereal, los cuales se observan en el cuadro N° 4.6.1.

Las condiciones ambientales en Puno fueron:

- Presión atmosférica: 490 mm Hg
- Temperatura ambiente: 12°C
- Humedad relativa: 60%

4.6.3. Cálculos y Resultados

La determinación del contenido de humedad en los cereales se realizará en base seca y en base húmeda, en función a los datos del cuadro N° 4.6.1.

Se emplearán las siguientes fórmulas:

- Contenido de humedad en base seca:

$$X(\%) = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$$

Donde:

m_h = muestra húmeda (gr)

m_s = muestra seca (gr)

- Contenido de humedad en base húmeda:

$$M(\%) = \frac{m_h - m_s}{m_h} \times 100$$

Donde:

m_h = muestra húmeda (gr)

m_s = muestra seca (gr)

Como ejemplo de cálculo, se determinará el primer contenido de humedad para la cebada:

- En base húmeda:

$$m_h = 5,0030 \text{ gr}$$

$$m_s = 4,6303 \text{ gr}$$

$$X(\%) = \frac{5,0030 - 4,6303}{4,6303} \times 100$$

$$X(\%) = 8\%$$

$$M(\%) = \frac{5,0030 - 4,6303}{5,0030} \times 100$$

$$M(\%) = 7,45\%$$

Análogamente se realizan los cálculos para las muestras restantes de los tres cereales.

Los cálculos y resultados se muestran en el.

Muestra	Muestra fresca (gr)	Peso cápsula vacía (gr)	Muestra seca (g)	Contenido humedad b _s X(%)	Contenido humedad b _h M(%)
Cebada	5.0030	49.8665	4.6303	8.00	7.45
Cebada	5.0288	49.4230	4.6666	8.00	7.20
Cebada	5.0038	44.1522	4.6363	8.00	7.34
Trigo	5.0340	47.5640	4.6458	8.00	7.71
Trigo	5.0240	46.5596	4.6458	8.00	7.53
Trigo	5.0196	50.4860	4.6209	9.00	7.94
Quinua	5,0000	46.5833	4.5199	11.00	9.60
Quinua	5,0000	43.9040	4.5236	11.00	9.53
Quinua	5,0000	50.0152	4.5323	10.00	9.35

Cuadro N° 4.6.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se sistematizaron los resultados obtenidos de la determinación de los parámetros de diseño agroindustriales de cereales, aplicando la metodología propuesta, que se muestra en el siguiente cuadro:

PARÁMETRO	CEBADA	TRIGO	QUINUA
Densidad másica	642,07 Kg/m ³	779,68 Kg/m ³	718,27 Kg/m ³
Densidad másica compactada	675,98 Kg/m ³	784,50 Kg/m ³	732,10 Kg/m ³
Ángulo de reposo (vaciando)	27,18°	26,96°	32,48°
Ángulo de reposo (llenado)	21,24°	26,64°	30,06°
Coefficiente de fricción estático (concreto – cereal)	0,38	0,35	0,45
Coefficiente de fricción estático (acero galvanizado – cereal)	0,21	0,26	0,28
Contenido de humead	7,33%	7,73%	9,49%

Cuadro N° 5.1. PARÁMETROS DE DISEÑO DETERMINADOS

De la misma manera se muestra a continuación un cuadro de los parámetros de diseño referenciales determinados por otros investigadores, considerando el menor y el mayor valor, en base a los cuadros del capítulo anterior:

PARÁMETRO	CEBADA	TRIGO
Densidad másica	628 - 687 Kg/m ³	724 - 798 Kg/m ³
Densidad másica compactada	679 - 715 Kg/m ³	837 - 872 Kg/m ³
Ángulo de reposo (vaciado)	25,7° - 30°	23° - 30°
Ángulo de reposo (llenado)	20° - 25°	23° - 28°
Coefficiente de fricción estático (concreto – cereal)	0,30 - 0,50	0,26 - 0,45
Coefficiente de fricción estático (acero galvanizado – cereal)	0,20 - 0,29	0,22 - 0,30

Cuadro N° 5.2. PARÁMETROS DE DISEÑO REFERENCIALES

(No existe información referente a la quinua)

Es importante tener en cuenta que en este último cuadro de parámetros de diseño referenciales determinados por otros investigadores y obtenidos de la bibliografía consultada, no se especifica el contenido de humedad del cereal, la variedad del cereal ni la metodología empleada para la determinación del parámetro. Aspectos que influyen en la determinación precisan de los valores de los parámetros de diseño agroindustriales, necesarias para los cálculos en la ingeniería de diseño.

5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el análisis de resultados de los dos cuadros se observa que para la cebada y el trigo (no existe información referencial para la quinua) los valores de los parámetros determinados están dentro de los rangos de los valores determinados por otros

investigadores, observándose esta coherencia en todos los parámetros, determinados experimentalmente con la metodología propuesta en la tesis.

La densidad másica de la cebada determinada es igual a $642,07 \text{ Kg/m}^3$ y está en el rango de $628 - 687 \text{ Kg/m}^3$ determinado por otros investigadores.

La densidad másica del trigo determinado es igual a $779,68 \text{ Kg/m}^3$ y están en el rango de $724 - 798 \text{ Kg/m}^3$ determinado por otros investigadores.

La densidad másica compactada determinada para la cebada es de $675,98 \text{ Kg/m}^3$ y está en el rango de $679 - 715 \text{ Kg/m}^3$ determinado por otros investigadores.

La densidad másica compactada determinada para el trigo es de $784,50 \text{ Kg/m}^3$ y está muy cerca del rango de $837 - 872 \text{ Kg/m}^3$ determinado por otros investigadores.

El ángulo de reposo (vaciando el silo) determinado para la cebada es de $27,18^\circ$ y está en el rango de $25,7^\circ - 30^\circ$ determinado por otros investigadores.

El ángulo de reposo (vaciando el silo) determinado para el trigo es de $26,96^\circ$ y está en el rango de $23^\circ - 30^\circ$ determinado por otros investigadores.

El ángulo de reposo (llenando el silo) determinado para la cebada es de $21,24^\circ$ y está en el rango de $20^\circ - 30^\circ$ determinado por otros investigadores.

El ángulo de reposo (llenando el silo) determinado para el trigo es de $26,64^\circ$ y está en el rango de $23^\circ - 30^\circ$ determinado por otros investigadores.

El coeficiente de fricción estático determinado para las superficies concreto – cebada es de 0,38 y está en el rango de 0,30 – 0,50 determinado por otros investigadores.

El coeficiente de fricción estático determinado para las superficies concreto – trigo es de 0,35 y está en el rango de 0,25 – 0,45 determinado por otros investigadores.

El coeficiente de fricción estático determinado para las superficies acero galvanizado – cebada es de 0,21 y está en el rango de 0,20 – 0,29 determinado por otros investigadores.

El coeficiente de fricción estático determinado para las superficies acero galvanizado – trigo es de 0,26 y está en el rango de 0,22 – 0,30 determinado por otros investigadores.

Respecto a los parámetros determinados de la quinua, no se pudo comparar por no existir información referencial sobre este cereal andino; pero los parámetros determinados constituyen un gran aporte de este trabajo de investigación para el desarrollo agroindustrial de este cereal andino.

La densidad másica y la densidad másica compactada de la quinua tiene un valor mayor que la cebada y menor que el trigo.

El ángulo de reposo de la quinua, vaciando y llenando el silo, tiene un valor mayor que la cebada y el trigo.

El coeficiente de fricción estático determinado para las superficies concreto – quinua y acero galvanizado – quinua resultaron mayores que la cebada y el trigo. Los análisis de resultados sobre la quinua están basados en el cuadro N° 5.1.

Utilizando los parámetros de diseño referenciales de otros investigadores del cuadro N° 5.2 se hará un análisis de los resultados para determinar las diferencias porcentuales respecto a los valores mínimos y máximos del cuadro.

La densidad másica de la cebada tiene un incremento de 2,2% (de 642,07 a 628 Kg/m³) y un decremento de 6,5% (de 687 a 642,07 Kg/m³). La densidad másica del trigo tiene un incremento de 7,7% (de 779,68 a 724 Kg/m³) y un decremento de 2,3% (de 798 a 779,68 Kg/m³).

La densidad másica compactada de la cebada tiene un decremento de 5,5% (de 715 a 675,98 Kg/m³) y un decremento de 0,4% (de 679 a 675,98 Kg/m³). La densidad másica compactada del trigo tiene un decremento de 10% (de 784,50 a 872 Kg/m³) y un decremento de 6,3% (de 784,50 a 837 Kg/m³).

El ángulo de reposo (vaciando el silo) de la cebada tiene un incremento de 5,8% (de 27,18° a 25,7°) y un decremento de 9,4% (de 30° a 27,18°). El ángulo de reposo (vaciando el silo) del trigo tiene un incremento de 17,2% (de 26,96° a 23°) y un decremento de 10,1% (de 30° a 26,96°).

El ángulo de reposo (llenado el silo) de la cebada tiene un incremento de 6,2% (de 21,24° a 20°) y un decremento de 15,0% (de 25° a 21,24°). El ángulo de reposo (llenado el silo) del trigo tiene un incremento de 15,8% (de 26,64° a 23°) y un decremento de 4,9% (de 28° a 26,64°).

El coeficiente de fricción estático sobre una superficie de concreto de la cebada tiene un incremento de 26,6% (de 0,38 a 0,30) y un decremento de 24% (de 0,50 a 0,38).

El coeficiente de fricción estático sobre una superficie de concreto del trigo tiene un incremento de 25,7% (de 0,35 a 0,26) y un decremento de 22,2% (de 0,45 a 0,35).

El coeficiente de fricción estático sobre una superficie de acero galvanizado de la cebada tiene un incremento de 5% (de 0,21 a 0,20) y un decremento de 27,6% (de 0,29 a 0,21). El coeficiente de fricción estático sobre una superficie de acero galvanizado del trigo tiene un incremento de 18,2% (de 0,26 a 0,22) y un decremento de 13,3% (de 0,30 a 0,26).

Los valores calculados para la quinua no pudieron ser analizados por no existir valores publicados respecto a él, constituyendo un aporte importante del trabajo de investigación realizado.

Las variaciones porcentuales de los cálculos realizados con respecto a los valores publicados por diferentes investigadores son aceptables con respecto a la densidad másica, la densidad másica compactada y los ángulos de reposo (vaciando o llenando el silo); no así en cuanto a los coeficientes de fricción estáticos.

Factores importantes que influyen en las variaciones porcentuales con respecto a los valores publicados, es la variedad del cereal; el contenido de humedad del cereal que depende de las características propias de cada cereal y la metodología empleada para la determinación del parámetro de diseño agroindustrial respectivo.

5.3 APLICACIONES DE LOS PROCESOS TECNOLÓGICOS PROPUESTOS

La metodología propuesta para determinar parámetros de diseño agroindustriales de cereales, nos ha permitido determinar experimentalmente parámetros de diseño para el trigo y cebada cuyos valores están en el rango de los valores determinados por otros investigadores, lo cual valida en cierta manera nuestra metodología propuesta. Considerando que la determinación experimental de los parámetros de diseño para la quinua, es un aporte importante del trabajo de investigación, teniendo en cuenta que este cereal en la coyuntura actual del país tiene una perspectiva de producción a gran escala lo cual conllevará a una manipulación de su post cosecha en forma mecanizada.

Los parámetros de diseño agroindustriales de cereales, determinados experimentalmente con la metodología propuesta tiene una gran aplicación en los siguientes aspectos de la ingeniería de diseño de la maquinaria industrial, ver los procedimientos de cálculo en los siguientes aspectos de la ingeniería de diseño:

5.3.1 ESTRUCTURAS DE ALMACENAJE DE CEREALES

En el diseño de cangilones, chutes de carga y descarga y tolvas, es importante la magnitud exacta del ángulo de reposo (α°) para un diseño eficiente. Se muestran gráficamente las siguientes aplicaciones:

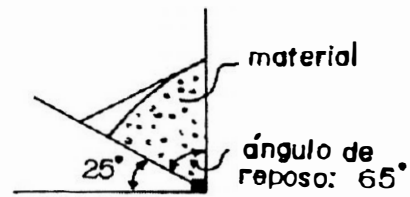
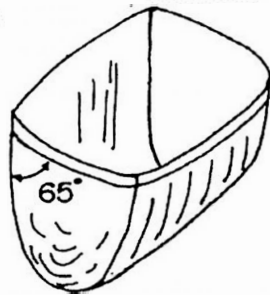
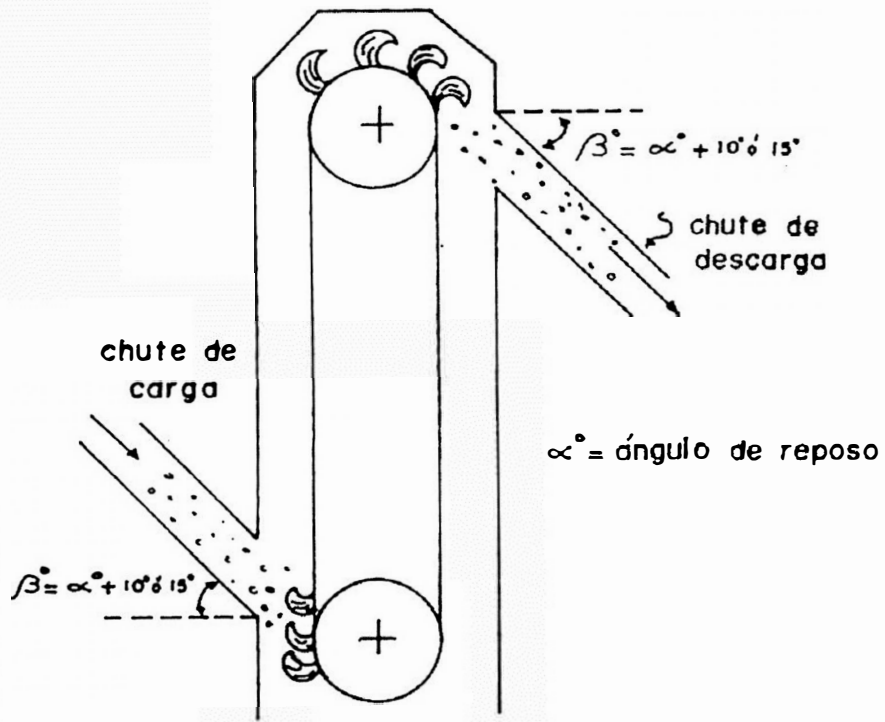
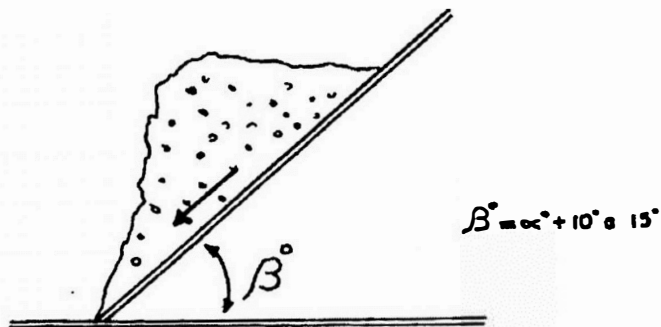


Fig. 6.1.1. Aplicaciones en Cangilones



$\alpha^\circ = \text{ángulo de reposo}$

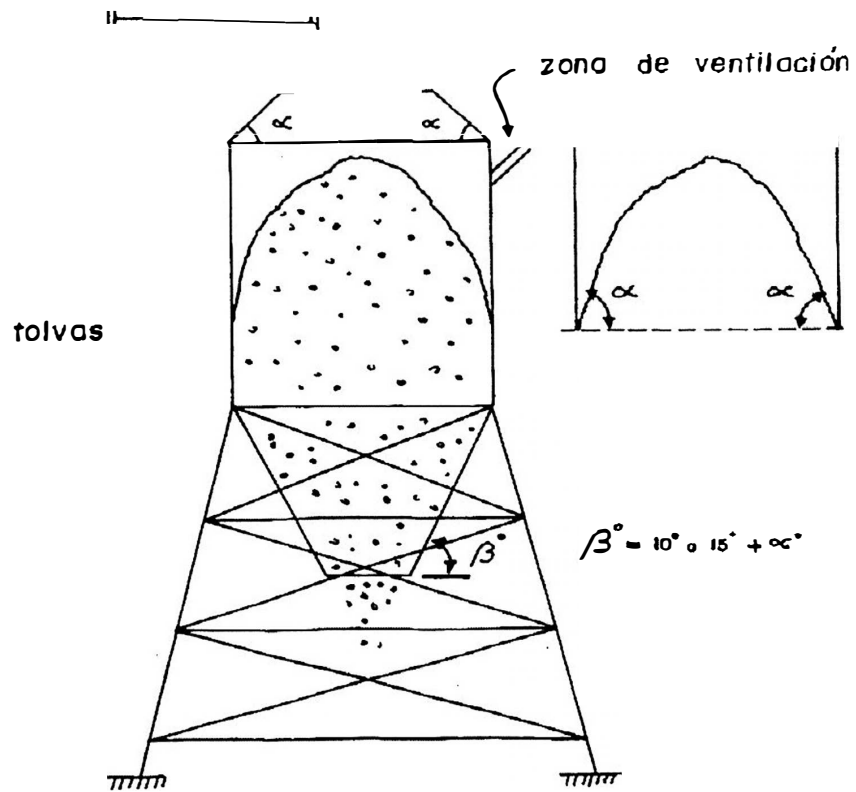


Figura 6.1.2. Aplicaciones en Tolvas.

5.3.2 DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN EJERCIDA POR LOS CEREALES EN ESTRUCTURAS CILÍNDRICAS DE ALMACENAJE (SILOS)

Para la determinación de la presión lateral que ejerce el cereal o granos, en el diseño de silos de almacenaje es importante la determinación experimental de los siguientes parámetros de diseño:

La densidad másica del cereal o grano.

El coeficiente de fricción estático del cereal contra el material de la pared del silo.

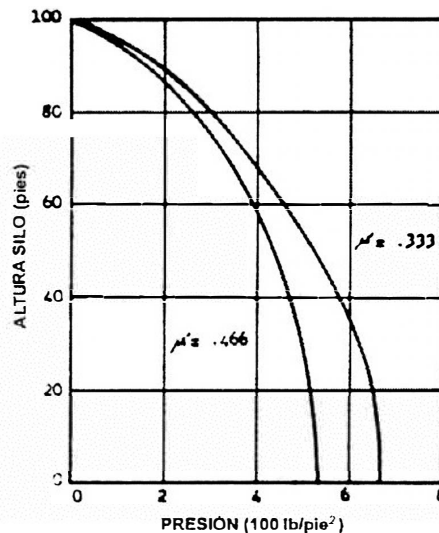


Fig. 6.2.1. Influencia del coeficiente de fricción estático μ' (Paper N° 62-302 presentado a la Reunión anual de la Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos de Washington D.C. Junio 1992; Richard V. Collins).

Para la aplicación de la fórmula de Janssen se presenta la siguiente información del efecto del contenido de humedad sobre parámetros de diseño del trigo:

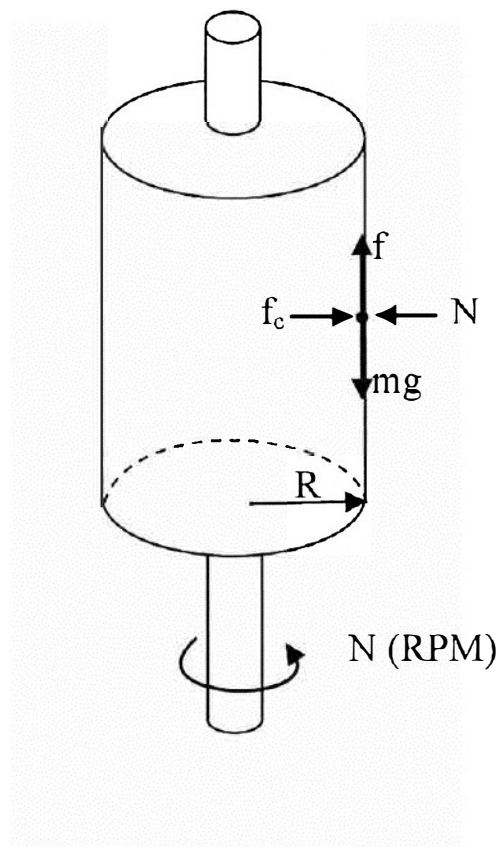
Contenido de Humedad (%)	Razón de Presión (K)	Coefficiente de Fricción Estático (μ')	Ángulo de reposo (α°)	Densidad Másica lb/pic ³ (ω)
7,3	04,3	04,2	29,6	49,3
11,0	04,2	04,3	29,3	49,2
14,1	03,6	04,3	31,0	47,2
17,1	03,4	04,7	35,6	45,4
19,3	02,8	05,9	41,0	43,9

Cuadro 6.2.1: Efecto del contenido de humedad sobre parámetros de diseño del trigo. (LORENZEN: Transactions of the ASAE, 1995).

5.3.1. DETERMINACIÓN DEL RPM CRÍTICO O MÁXIMO DE MÁQUINAS ROTATORIAS

En el diseño de máquinas rotatorias, cuya parte principal es un cilindro rotatorio de eje horizontal, es importante determinar el RMP crítico o máximo.

La quinua es un cereal que para consumirlo se tiene que lavar varias veces para sacar la saponina que tiene un sabor amargo, sustancia que se encuentra en la capa superficial del cereal; mecánicamente se puede sacar la saponina por fricción contra una pared rugosa, es decir introduciendo la quinua en un cilindro de paredes interiores rugosas que gire a un determinado RPM (rotaciones por minuto), para calcularlo necesitamos el coeficiente de fricción estático de la quinua; el cálculo del RPM crítico se haría de la siguiente manera:



Calcularemos el RPM crítico que hace que la fuerza centrífuga “pegue” el cereal de quinua contra la pared del cilindro (y no se friccionen por rotación contra la pared):

$$F_c = m \frac{V^2}{R} = N \quad (1); \quad f = \mu N = mg \quad (2)$$

Donde: μ = coeficiente de fricción estático de la quinua contra la pared rugosa.

De (2):
$$N = \frac{mg}{\mu}$$

Reemplazando en (1)
$$\frac{mg V^2}{R} = \frac{mg}{\mu}$$

Pero: $V = 2\pi NR$

$$\frac{(2\pi NR)^2}{R} = \frac{g}{\mu}; \quad g = 9,81 \text{ m/S}^2$$

De donde:
$$N = \frac{0,705 \text{ rev}}{\sqrt{2R\mu} \text{ S}}$$

$$N = \frac{42,30 \text{ rev}}{\sqrt{2R\mu} \text{ min}}$$

$N =$ RPM crítico, más allá del cual los granos de quinua se “pegarían” a las paredes del cilindro; para el funcionamiento óptimo se considera solo

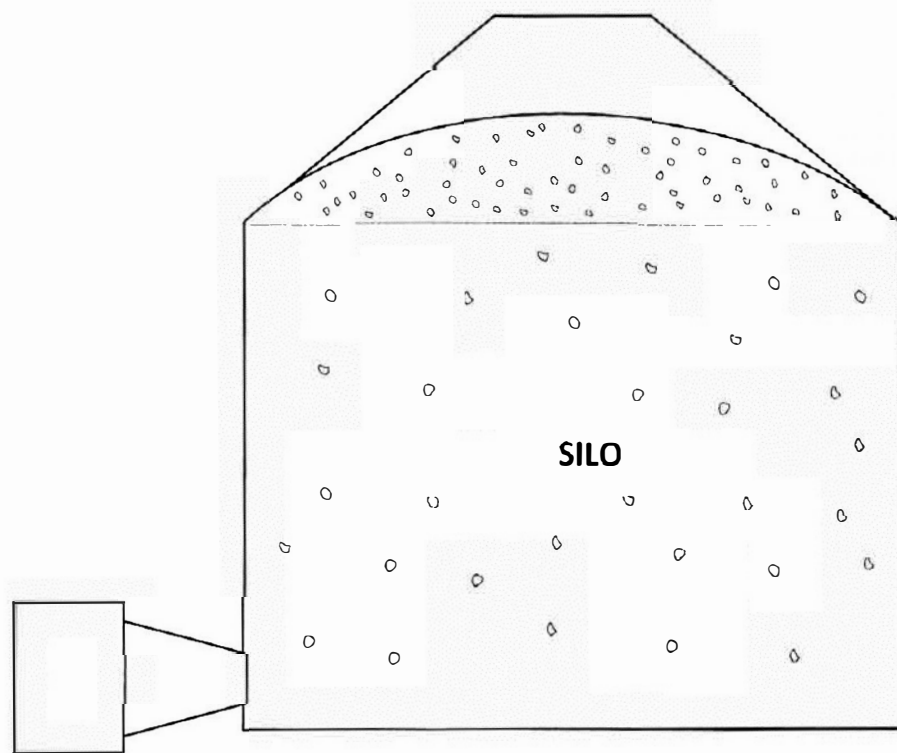
un 75% de esta velocidad crítica y será determinado bajo las condiciones de operación de la planta.

Similarmente es el procesamiento de los granos de la cebada, para dar un producto que se llama “MORÓN” y que se utiliza para la sopa en la región sur del país.

5.3.2. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD O VOLUMEN DE LOS SILOS DE ALMACENAJE DE CEREALES

En el diseño de maquinaria industrial la información técnica que más se utiliza es la de LINK BELT que proporciona propiedades físicas de granos, cereales, minerales, etc. Pero no se especifica las características técnicas de los materiales como por ejemplo para los cereales no se especifica la variedad, humedad, etc., aspectos fundamentales que influirán en la precisión de los valores de los parámetros de diseño a determinar experimentalmente.

En el diseño de la capacidad o volumen de los silos de almacenaje para los granos, la precisión de la densidad másica (bulkdensity) contribuirá en forma importante al diseño preciso del volumen del Silo y, por ende a la cantidad de kilos del cereal de una determinada variedad que podrá ser almacenada en el silo; considerando que dicho parámetro de diseño será determinado por la metodología propuesta en el trabajo de investigación.



$$\delta = \frac{m}{V}$$

Donde: δ : Kg/m

m = Kg

V = m³

Si se quiere almacenar “m” Kg de cereal, el volumen del silo en m³ será de.

Entonces el volumen del silo será de $V = \frac{m}{\delta}$ (en m³)

5.3.3. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA POR FRICCIÓN EN TRANSPORTADORES DE GRANOS

La performance teórica de máquinas y mecanismos usados en la manipulación mecánica y procesamiento de granos en general no puede ser apreciada totalmente sin un conocimiento de las propiedades físicas del grano. En el diseño de maquinaria industrial para el manejo de granos, tales como máquinas de transporte mecánico y neumático, el grano está en contacto directo con los componentes de la máquina sobre la cual deberá deslizar.

La potencia total requerida para manejar estas máquinas está compuesta de muchos componentes. La potencia consumida por fricción es uno de los componentes de la potencia total requerida y su estimación precisa requiere un conocimiento de los coeficientes de fricción del grano que será transportado.

La fórmula para calcular la potencia consumida por fricción para transportadores ligeros, empleada en maquinaria industrial es:

$$HP = \frac{Q(L_h f_g + H)}{33,000}$$

Donde;

Q = Velocidad del peso del grano a ser transportado (lb/min).

L_h = Longitud proyectada horizontal del transportador cargado (pie)

f_g = Coeficiente de fricción para el grano

H = Altura a subir (pie)

Considerando que el contenido de humedad del grano influye en el valor preciso del coeficiente de fricción, determinaremos como ejemplo la potencia requerida para subir cebada en un Transportador drag – chain de 10 pies de longitud a una altura de 4 pies.

Los coeficientes de fricción de la cebada contra plancha de metal galvanizado para 12,3% y 16,4% de contenido de humedad son respectivamente 0,17 y 0,34. La velocidad del peso del grano es 615 lb/min cuando está seco y 547 lb/min cuando está mojado.

Determinaremos el efecto del contenido de humedad sobre el requerimiento de potencia para subir el grano.

Para el grano seco:

$$HP = \frac{615(10 \times 0,17 + 4)}{33,000} = 0,106$$

Para el grano mojado

$$HP = \frac{547(10 \times 0,34 + 4)}{33,000} = 0,123$$

Notamos que como el incremento del coeficiente de fricción debido al incremento del contenido de humedad, determina o influye en los resultados en pequeños cambios en los requerimientos de potencia, que podrían ser económicamente significativos bajo otras condiciones del transporte del grano.

5.3.4. TRILLADORAS DE GRANOS

Actualmente en la coyuntura de la quinua, cereal cuya perspectiva de producción futura es expectante en la región de Puno y el país; conlleva a que las actividades de postcosecha necesariamente se realizarán mecánicamente, uno de estos procesos es el trillado (separación del grano de quinua del tallo). Trilladoras de quinua no existen en el mercado y deben diseñarse, para lo cual el coeficiente de fricción estático es fundamental para su diseño.

Las trilladoras presentan como una parte fundamental en su interior un cono de trillado o un cilindro de trillado. Específicamente en la trilladora con cono, el sistema consiste de dos conos truncados coaxiales, con una luz ajustable entre uno y otro cono.

En un sistema, el cono exterior es hecho de plancha metálica perforada que es el cono estacionario, mientras el cono interior es hecho de barra angular cubierta con jebe o goma para golpear y rotar.

El mecanismo fabricado usa la fuerza centrífuga para trillar los granos superiores y como el material se mueve del área menor hacia el área mayor a lo largo del cono truncado, más tiempo es aprovechado por el grano para separarse de la broza y la paja. Para determinar el ángulo óptimo de los conos por un análisis de la fricción de deslizamiento del grano que está siendo trillado con la superficie interior del cono exterior. En la figura que se muestra; el grano está descansando sobre un plano inclinado que representa la superficie interior del cono perforado. F_c es la fuerza centrífuga resultante del movimiento circular del grano junto al cono. Los componentes de esta fuerza, $F_c \sin \theta$ y

$F_C \cos \theta$, son, respectivamente la fuerza la cual tiende a causar que el grano se deslice hacia abajo del plano y la fuerza normal. La fuerza de fricción $f F_C \cos \theta$ evita que los granos se deslicen hacia abajo del plano.

Este análisis muestra que cuando el deslizamiento es impedido, se debe cumplir:

$$f F_C \cos \theta = F_C \sin \theta$$

$$\text{Tg} \theta = f$$

Conociendo el coeficiente de fricción f , el ángulo del cono 2θ puede ser determinado. Para que los granos se deslicen sobre la superficie, θ deberá ser mayor que $\text{tg}^{-1} f$ ($\text{arctg} f$).

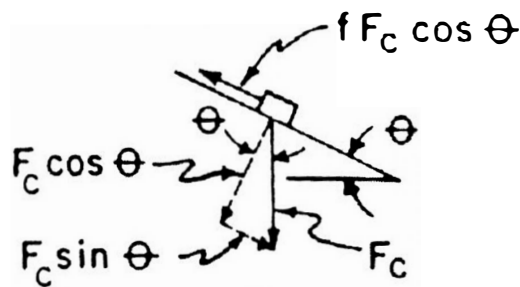


Figura 6.6.1. Determinación del óptimo ángulo del cono en un cono de trillado por el análisis de fricción de deslizamiento.

CONCLUSIONES

En base al análisis de los resultados de los cuadros N° 5.1 y N° 5.2 se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1. La densidad másica obtenida para la cebada de $642,07 \text{ kg/m}^3$ y para el trigo de $779,68 \text{ kg/m}^3$ son válidas por estar en el rango obtenido por otros investigadores.

Para la quinua la densidad másica es de $718,27 \text{ kg/m}^3$ que es validado por los valores apropiados obtenidos para la cebada y el trigo.

2. La densidad másica compactada para la cebada de $675,98 \text{ kg/m}^3$ y para el trigo de $784,50 \text{ kg/m}^3$ son válidas por estar en el rango obtenido por otros investigadores.

Para la quinua la densidad másica compactada es $732,10 \text{ kg/m}^3$ que es validado por los valores apropiados obtenidos para la cebada y el trigo.

3. El ángulo de reposo (vaciando) para la cebada de $27,18^\circ$ y para el trigo de $26,96^\circ$ son válidos por estar en el rango obtenido por otros investigadores.

Para la quinua el ángulo de reposo (vaciando) es de $32,48^\circ$ que es validado por los valores apropiados obtenidos para la cebada y el trigo.

4. El ángulo de reposo (llenando) para la cebada de $21,24^\circ$ y para el trigo de $26,64^\circ$ son válidos por estar en el rango obtenido por otros investigadores.
Para la quinua el ángulo de reposo (llenando) es de $30,06^\circ$ que es validado por los valores apropiados obtenidos para la cebada y el trigo.
5. El coeficiente de fricción estático (concreto – cereal) para la cebada es de 0,38 y para el trigo de 0,35 están en el rango obtenido por otros investigadores.
Para la quinua el coeficiente de fricción estático (concreto – cereal) es de 0,45 que es validado por los valores apropiados obtenidos para la cebada y el trigo.
6. El coeficiente de fricción estático (acero galvanizado – cereal) para la cebada es de 0,21 y para el trigo de 0,26 están en el rango obtenido por otros investigadores.
Para la quinua el coeficiente de fricción estático (acero galvanizado – cereal) es de 0,28 que es validado por los valores apropiados obtenidos para la cebada y el trigo.
7. Los parámetros de diseño determinados para la quinua no se pudieron comparar con la de otros investigadores porque no existe información en la actualidad y, precisamente dichos parámetros constituyen un aporte importante de la tesis que contribuirá a la tecnificación de los procesos de post cosecha de la quinua en la región de Puno y otras regiones del país.
8. La metodología propuesta para la determinación de los parámetros de diseño agroindustriales de cereales son apropiados y deben ser similares a los empleados por otros investigadores.

9. Para los cálculos de la ingeniería de diseño de máquinas y sistemas agroindustriales se debe emplear parámetros de diseño exactos que pueden ser determinados experimentalmente con la metodología propuesta en la tesis.

RECOMENDACIONES

1. Los parámetros de diseño determinados experimentalmente para la quinua deben ser utilizados para el desarrollo agroindustrial de este cereal andino, que actualmente en el altiplano de la región de Puno ha aumentado su productividad por las perspectivas de exportación en la coyuntura económica actual, considerando que es un cereal andino con alto contenido proteico y que tiene aminoácidos esenciales para el organismo como no lo tiene ningún cereal.
2. La metodología propuesta en la tesis es un aporte significativo en este tema de investigación y, se recomienda que se haga un trabajo de transferencia de esta tecnología y las instituciones pertinentes que hacen investigación en el país como el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) y a las universidades, con el objetivo que sea un aporte para el desarrollo del agro nacional que implicará también una contribución a elevar el nivel socioeconómico de los agricultores en general.
3. Se recomienda continuar la investigación en el conocimiento de las propiedades físicas de los productos agrícolas, que es importante para el diseño de máquinas, estructuras y equipos para la producción, el manejo y procesamiento de

productos agrícolas. La investigación en esta área de ciencia y tecnología se ha expandido vertiginosamente en los últimos años, al punto que se habla de una ingeniería de propiedades de productos agrícolas.

4. Se recomienda a las Escuelas Profesionales de Ingeniería Agronómica, Agrícola y Agroindustrial de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno implementar esta metodología de determinación de parámetros de diseño agroindustriales en sus cursos de laboratorios experimentales y, que de esta manera la Universidad a través de la investigación contribuya a solucionar los problemas de desarrollo agroindustrial de la región de Puno.
5. Así como el Sistema Internacional de Unidades tiene el objetivo que en todos los países se usen las mismas unidades, se recomienda análogamente, que se tienda a que todos los países utilicen la misma metodología para la determinación de parámetros de diseño agroindustriales, que incluyan técnicas e instrumentación estándares.

BIBLIOGRAFÍA

1. BEER F., JOHNSTON E.: Estática, Editorial Mc Graw Hill, México, 1998.
2. NORTON, R.: Diseño de maquinaria, Editorial Mc Graw Hill, México, 1995.
3. GENZER P., YOUNGNER M.: Laboratorio de Física, Editorial Publicaciones Cultural S.A., México, 1982.
4. SHIGLEY J., MISCHKE CH.: Diseño de Ingeniería Mecánica, Editorial Mc Graw Hill, México, 1998.
5. SERWAY R.: Física, Editorial Mc Graw Hill, México, 1986.
6. FAIRES V.: Diseño de elementos de máquinas, Editorial Limusa S.A., México, 1997.
7. FRENCH T., VIERCK C.: Dibujo en Ingeniería, Editorial Mc Graw Hill, México, 2005.
8. METREAU S.: Apparatus for the mechanical processing of sweet foods, Food Science Technology, 1984.
9. ZOERD, A.: Instrumentation and measurement techniques for Determining phisica properties, Transaction of the ASAE, 1987.

10. SNYDEE B.: Coefficients of Kinetic friction of wheat on various metal surfaces, transaction of the ASAE, 1987.
11. FINNEY C.: Elastic properties of potatoes, transaction of the ASAE, 1988.
12. MUJICA A.: Cultivo de la quinua, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 1997.
13. CANADIAN GRAIN COMMISSION: Grading handbook for western Canada, Winnipeg, 1994.
14. COLLINS, R.: Determining Pressures in cylindrical storage structures, transaction of the ASAE, 1993.
15. RAMESHBABU, JAYAS, MUIR: Bulk and Handling properties of barley, Food Canada Research Centre, 1996.
16. ASAE 1990 STANDARD: Moisture measurement of Unground grain and seeds, ASAE Standards, 1995.
17. MARKS: Manual de Ingeniero Mecánico, Editorial Mc Graw Hill, México, 1995.