



USE OF THE ENERGY IN AGRICULTURE *USO DE LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA*



<https://eqrcode.co/a/XP8sGZ>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Design of an Industrial Rotary Cylinder Grain Dryer *Diseño de un secador industrial tipo cilindro rotatorio para granos*

Dr.C. Yanoy Morejón-Mesa*, Ing. Daniel Silva-Junco, Ing. Yarian Reyes-Suárez

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba.

ABSTRACT. The present investigation was oriented to establish the foundations for the design of an industrial grain dryer. For the fulfillment of the proposed objective, the theoretical-methodological bases referring to the subject were established and the pertinent computer tools were used for this purpose. Among the main results obtained, it was evident that the theoretical-methodological foundations proposed made it possible to establish the design parameters for an industrial grain dryer. On the other hand, with the use of SolidWorks, MATHCAD 2000 Professional and Termotransf computer tools, the thermal and kinetic modeling of the conceived design were carried out, as well as the determination of the main design parameters and the selection of component parts. It was also obtained that the total heat to be generated inside the proposed drying installation amounts to 28.75 kW with an efficiency of 89.2%, which demonstrates its functionality. From the economic point of view, the proposed design reaches an amount of 10 450.25 total currencies (5 861.40 CUC and 4 588.86 CUP), which represents only 34.8% of the minimum price of similar facilities in the international market.

Keywords: mechanical design, grain drying, heat transfer.

RESUMEN. La presente investigación se orientó en establecer los fundamentos para el diseño de un secador industrial de granos. Para el cumplimiento del objetivo propuesto se establecieron las bases teórico-metodológicas referentes a la temática y se utilizaron las herramientas informáticas pertinentes para tal fin. Entre los principales resultados obtenidos se evidenció que los fundamentos teórico-metodológicos planteados posibilitaron establecer los parámetros de diseño para un secador industrial de granos. Por otro lado, con el empleo de las herramientas informáticas SolidWorks, MATHCAD 2000 Profesional y Termotransf, se realizaron la modelación térmica y cinética del diseño concebido, así como la determinación de los principales parámetros de diseño y selección de partes componentes. Entre los principales resultados se obtuvo que el calor total a generarse en el interior de la instalación de secado propuesta, asciende a 28,75 kW con una eficiencia de 89,2%, lo que demuestra la funcionabilidad del mismo y desde el punto de vista económico, el diseño propuesto alcanza un monto de 10 450,25 Moneda Total (5 861,40 CUC y 4 588,86 CUP), representado solo el 34,8% del precio mínimo de instalaciones similares en el mercado internacional.

Palabras clave: diseño mecánico, secado de granos, transferencia de calor

INTRODUCTION

Currently, the drying of agricultural products not only constitutes a way for self-sufficiency, but also offers a productive and commercial alternative for the national and international market. The current trend, given by the new lifestyles and eating habits, influences the increase in the consumption rates of healthy and natural products

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el secado de los productos agrícolas no solo constituye una vía para el autoabastecimiento, sino que ofrecen una alternativa productiva y comercial para el mercado nacional e internacional. La tendencia actual dada por los nuevos estilos de vida y costumbres alimenticias inciden en el incremento de los índices de consumo de los productos

*Author for correspondence: Yanoy Morejón-Mesa, e-mail: yym@unah.edu.cu

Received: 16/12/2019.

Approved: 14/06/2020.

that meet the terms of the established quality standards (Soliva-Fortuny, 2002).

The drying process is carried out with the aim of inhibiting the germination of the seeds and reducing their moisture content in order to prevent the growth of fungi and their deterioration. Several authors define this process as “the universal method of conditioning the grains through the elimination of water to a level that allows its balance with the ambient air, in such a way that it preserves its appearance and its nutritional characteristics, based fundamentally on its nutritional quality and viability of the seed” (Boffa *et al.*, 2012).

There are two methods used to perform the drying of grains, which are natural and artificial, the most widely used today is artificial since grain production in the world has increased steadily.

The quality of artificial drying and its performance are evaluated based on the proportion of the grain that remains whole or three-fourths of its size after being processed. When the drying process is carried out, the most feasible is to use methods that give a good IP pile index (high mass of whole grains). These indices are determined by environmental and management factors, such as harvesting, threshing, storage, and especially drying (Cubillos y Barrero, 2010).

An industrial artificial drying system requires relatively high investment costs. According to the online agriculture show AGRIESPO (2019), the price of this type of installation ranges between 2,000 and 200,000 USD depending on the model, capacity, types and quantity of burners installed and the manufacturer. The acquisition of such a system also requires the operator’s technical training, so that the benefits of this technology can be fully exploited (Antoninho *et al.*, 1991).

For underdeveloped countries where the majority of the population depends on agriculture for their livelihood, it is difficult to acquire conventional drying systems, since considerable investments are required, due to their high costs of installation, operation and maintenance. For these reasons, it is of utmost importance to encourage the use of drying machines and installations that are easy to build and that make it possible to achieve the lowest investment and operating costs.

In studies carried out in Cuba, it has been found that the grain that arrives in the dryers does not always have the optimal cultivation and humidity parameters required. In addition, there are operational deficiencies in the drying, which cause a high percentage of broken grains, and consequently the diminishing of their industrial quality.

Among the main causes that provoke these losses is the impossibility of achieving the adequate percentage of humidity for storage, since the producers dry their productions in the field or on roads with little traffic, being the product exposed to the elements, susceptible to attack by insects, birds and rodents, and to the contamination by microorganisms.

Due to the importance of the drying operation in the technological efficiency and quality of the grains, the objective of this research was to design an industrial rotary cylinder type grain dryer.

sanos y naturales; cumpliendo con los estándares de calidad establecidos (Soliva-Fortuny, 2002).

El proceso de secado se realiza con el objetivo de inhibir la germinación de las semillas y reducir el contenido de humedad de las mismas con el propósito de impedir el crecimiento de hongos y evitar su deterioro. Varios autores definen este proceso como: “el método universal de acondicionar los granos por medio de la eliminación del agua hasta un nivel que permita su equilibrio con el aire ambiente, de tal forma que preserve su aspecto y sus características alimenticias, basándose fundamentalmente en su calidad nutricional y la viabilidad de la semilla” (Boffa *et al.*, 2012).

Existen dos métodos empleados para realizar el secado de granos, los cuales son: el natural y el artificial, el más utilizado actualmente es el artificial ya que la producción de granos en el mundo se ha incrementado de modo constante.

La calidad del secado artificial y su rendimiento se evalúan basados en la proporción del grano que permanece entero o en tres cuartos de su tamaño después de ser beneficiado. Cuando se realiza el proceso de secado lo más factible es manejar métodos que arrojen un buen índice de pilado IP (alta masa de granos enteros); estos índices están determinados por factores ambientales y de manejo, tales como la cosecha, trilla, almacenamiento y especialmente el secado (Cubillos y Barrero, 2010).

Un sistema de secado artificial industrial exige costos de inversión relativamente elevados; según el salón online de la agricultura AGRIESPO (2019), el precio de este tipo de instalaciones oscila entre 2 000 y 200 000 USD dependiendo del modelo, la capacidad y el fabricante. La adquisición de tal sistema requiere además del adiestramiento técnico del operador, para que se puedan aprovechar al máximo los beneficios de esa tecnología (Antoninho *et al.*, 1991).

Para los países subdesarrollados donde la mayoría de la población depende de la agricultura para su sustento, resulta difícil la adquisición de sistemas convencionales de secado, ya que se requiere de inversiones considerables, por sus altos costos de instalación, operación y mantenimiento. Por tales motivos es de suma importancia incentivar la utilización de máquinas e instalaciones de secado que sean de fácil construcción y que posibiliten alcanzar el menor costo de inversión y explotación.

En estudios realizados en Cuba se ha podido constatar que el grano que llega a los secaderos, no siempre tiene los parámetros óptimos de cultivo y de humedad requeridos, además inciden deficiencias operacionales en el secado, que causan un elevado porcentaje de granos partidos, que va en detrimento de la calidad industrial.

Entre las principales causas que provocan estas pérdidas se encuentra la imposibilidad de lograr el porcentaje de humedad adecuado para el almacenamiento, dado que los productores realizan el secado de sus producciones en el campo o sobre carreteras de poco tráfico, estando expuesto el producto a la intemperie, propenso al ataque de insectos, aves y roedores, y a la contaminación por microorganismos.

Debido a la importancia de la operación de secado en la eficiencia tecnológica y calidad de los granos, el objetivo de esta investigación se orientó en el diseño de un secador industrial tipo cilindro rotatorio para granos.

MATERIALS AND METHODS

Bases for the Design of a Grain Drying Installation

For the design of a grain drying installation according to Lisboa *et al.* (2007) and Castaño *et al.* (2009), it is necessary to know the parameters involved in the drying process and the factors related to it, which allow carrying the process out. The importance of each of them depends on the product to be dried.

◆ Parameters involved in the drying process:

- Heat transfer
- Psicrometric process
- Drying atmosphere
- External conditions
- Type of grain
- Air temperature
- Air speed
- Moisture content of the grain
- Amount of grain to dry

In reference to the type of grain to be dried, it is very important to know:

- Moisture content present in the grain to be dried.
- Maximum drying temperature that the product can withstand without losing its properties.
- Specific volume, density and porosity of the grain.
- Percent of extraction of grain moisture per hour without losing its physical, chemical, nutritional and quality properties.

Air Velocity

The main functions of the air speed inside the dryer are to transmit the energy required to heat the water contained in the grain, facilitating its evaporation and transporting the moisture evaporated by the material. The air speed for the correct drying of the grains in the rotary dryers must be between 0,25 to 2,5 m/s.

Moisture Content of the Grain

During the drying process it is necessary to know and define some terms that allow expressing the amount of water contained in the grain to be dried, as well as the amount of water that must be removed. The following expression is used to calculate them:

$$X_h = \frac{m_a}{m_a + m_s}, \frac{\text{kg of water}}{\text{kg solid}} \quad (1)$$

where: X_h : moisture content on wet basis, m_a : mass of water contained in the solid, kg; m_s : totally dry solid mass, kg.

$$X_s = \frac{m_a}{m_s}, \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg sólido seco}} \quad (2)$$

where: X_s : moisture content on a dry basis.

MATERIALES Y MÉTODOS

Bases para el diseño de una instalación de secado de granos

Para el diseño de una instalación de secado de granos según Lisboa *et al.* (2007) y Castaño *et al.* (2009), es necesario conocer los parámetros involucrados en el proceso de secado y los factores que intervienen en dicho proceso, los cuales hacen posible que este proceso se lleve a cabo, la importancia de cada uno de ellos depende del producto que se desee secar.

◆ Parámetros involucrados en el proceso de secado:

- Transferencia de calor,
- Proceso psicrométrico,
- Atmósfera de secado,
- Condiciones externas,
- Tipo de grano,
- Temperatura del aire,
- Velocidad del aire,
- Contenido de humedad del grano.
- Cantidad de grano a secar.

Del tipo de grano que se va a secar, es muy importante conocer:

- Contenido de humedad presente en el grano a secar,
- Temperatura máxima de secado que el producto puede soportar sin perder sus propiedades.
- Volumen específico, densidad y porosidad del grano.
- Porcentaje de extracción de humedad por horas del grano sin perder sus propiedades físicas, químicas, nutritivas y de calidad.

Velocidad del aire:

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el grano, facilitando su evaporación y transportar la humedad evaporada por el material. La velocidad del aire para el correcto secado del grano en los secadores rotatorios debe estar comprendido entre 0,25 a 2,5 m/s.

Contenido de humedad del grano

Durante el proceso de secado es necesario conocer y definir algunos términos que permitan expresar la cantidad de agua que contiene el grano a secar, así como la cantidad de agua que es necesario eliminar. Para el cálculo de la misma se utiliza la siguiente expresión.

$$X_h = \frac{m_a}{m_a + m_s}, \frac{\text{kg of water}}{\text{kg solid}} \quad (1)$$

donde: X_h : contenido de humedad en base húmeda, m_a : masa de agua contenida el sólido, kg; m_s : masa de sólido totalmente seco, kg.

$$X_s = \frac{m_a}{m_s}, \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg sólido seco}} \quad (2)$$

donde: X_s : contenido de humedad en base seca.

Theoretical-Methodological Bases for the Dimensioning of Rotary Cylinder Type Drying Facilities

The sizing of a drying installation is based on the production parameter and the product to be dried (Lisboa *et al.*, 2007; Castaño *et al.*, 2009).

Diameter of the Rotating Cylinder

In rotary cylinder type grain dryers, the diameter must be between 0,3 and 3m, depending on the volume of product to be processed.

Rotary Cylinder Length

For the calculation of the total length of the rotary dryer, it should only be taken into account that the diameter is 10 to 25% of its length.

Retention Time

The retention time of the grain in the dryer must be equal to the required drying time if the grain is to come out with the desired moisture content, depending on the drying temperature and the percentage of moisture extraction.

Grain Discharge Time

The discharge time will be equal to the grain retention time in continuous flow rotary dryers. The retention time (t_{ret}) is calculated with the following equation, based on the volume occupied by the grain at all times, which depends on the filling fraction f used in%.

$$t_{ret} = \frac{60 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L \cdot f \cdot \rho_p}{4 \cdot mp}, \text{ min} \quad (3)$$

where: mp : grain mass flow, kg/h; D : cylinder diameter, m; L : cylinder length, m; ρ_p : grain density, kg/m³.

Slope of Cylinder Inclination

The slope of inclination (s) is obtained from the clearance of the Saeman and Mitchell Equation, to determine the discharge time.

$$t_{ret} = \frac{L}{a \cdot \omega \cdot D (s + b \cdot Va)}, \text{ h} \quad (4)$$

where: s : cylinder slope; a and b : 2,5 and $1,52 \cdot 10^3$ are constant, respectively; ω : cylinder rotation frequency, rad/s or s⁻¹; Va : air speed, m/s.

According to Saeman and Mitchell, the value of a can vary between 2,0 and $3,14 (\pi)$. With elevators designed to get the best waterfalls, the value of a approaches 3,0, but 2,5 is likely to be a more realistic value. The value of b applicable to thick materials is $9,1 \cdot 10^{-4}$. For fine materials Saeman and Mitchell give a value of $1,52 \cdot 10^{-3}$.

Bases teórico-metodológicas para el dimensionamiento de instalaciones de secado de tipo cilindro rotatorio

El dimensionamiento de una instalación de secado está basado en el parámetro de producción y del producto a secar (Lisboa *et al.*, 2007; Castaño *et al.*, 2009).

Diámetro del cilindro rotatorio:

En los secadores de granos tipo cilindro rotatorio el diámetro debe de estar comprendido entre (0,3 a 3) m, en dependencia del volumen de producto a procesar.

Longitud del cilindro rotatorio:

Para el cálculo de la longitud total del secador rotatorio solo de debe tener en cuenta que el diámetro es del 10 al 25% de la longitud del mismo.

Tiempo de retención

El tiempo de retención del grano en el secador debe ser igual al tiempo requerido de secado si el grano va a salir con el contenido de humedad deseado, dependiendo de la temperatura de secado y el porciento de extracción de humedad.

Tiempo de descarga del grano

El tiempo de descarga será igual al tiempo de retención del grano en secadores rotatorios de flujo continuo. El tiempo de retención (t_{ret}) se calcula con la ecuación, en base al volumen ocupado por el grano en todo momento la cual depende de la fracción f de llenado que se utiliza en porcentaje.

$$t_{ret} = \frac{60 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L \cdot f \cdot \rho_p}{4 \cdot mp}, \text{ min} \quad (3)$$

donde: mp : flujo másico del grano, kg/h; D : diámetro del cilindro, m; L : longitud del cilindro, m; ρ_p = densidad del grano, kg/m³.

Pendiente de inclinación del cilindro:

La pendiente de inclinación (s) se obtiene a partir del despeje de la ecuación de Saeman y Mitchell, para determinar el tiempo de descarga.

$$t_{ret} = \frac{L}{a \cdot \omega \cdot D (s + b \cdot Va)}, \text{ h} \quad (4)$$

donde: s : Pendiente del cilindro; a : son constantes 2,5 y $1,52 \cdot 10^3$ respectivamente; ω : frecuencia de rotación del cilindro, rad/s o s⁻¹; Va : velocidad del aire, m/s.

De acuerdo con Saeman y Mitchell el valor de a , puede variar entre 2,0 y $3,14 (\pi)$. Con elevadores diseñados para obtener las mejores cascadas, el valor de a se aproxima a 3,0, pero es probable que 2,5 sea un valor más real. El valor de b aplicable a materiales gruesos es $9,1 \cdot 10^{-4}$; para materiales finos Saeman y Mitchell dan valor de $1,52 \cdot 10^{-3}$.

Hopper Dimensions

The hopper is the element that stores and distributes the grain to the drying chamber. Its volume depends on the amount of grain to be processed which is determined by the following equation.

$$V = \left[\frac{h}{3} (a^2 + b^2 + \sqrt{a * b}) \right] + a^2 * c, m^3 \quad (5)$$

where: V: hopper volume, m³; h: height of the truncated pyramid, m; a: side of the upper prism, m; b: lower side of the lower prism hopper, m; c: height of the upper prism, m.

Methodologically, the SolidWorks 2017 program is used for the design of the drying installation, which allows 3D modeling to be carried out, as well as the part drawings of each component part of the installation.

Theoretical Bases for Calculating the Power Required to Move the Rotary Cylinder of the Drying Installation

The element of the reduction system that generates the power necessary to move the rotary cylinder is the electric motor. The other elements of the speed reduction system such as the gear box, belt, sprockets and chain are responsible for transmitting this power to the drive shaft that drives the rotary cylinder. To calculate this power, the power law shown below is used:

$$P_M = P_O \left(\frac{M_R}{M_O} \right)^{1/3}, hp \quad (6)$$

where: P_M: nominal power of the electric motor of the speed reduction system, hp; M_R: Total mass to rotate, kg; (Starting functions: P_O = 0.5 hp, M_O = 10 kg).

Theoretical-Methodological Bases for Calculating the Resistance of the Drying Installation

Resistance calculations were based on the determination of displacement, unitary stresses and the resulting stresses by applying the third resistance hypothesis (Von Mises) (Miroliúbov (1979); Feodosiev (1980); Stiopin (1985)). SolidWorks 2017 software was used for determining, the resistance of the cylinder, vanes, bearing shafts, the hopper to a weight force and that of the complete structure of the installation.

Theoretical-Methodological Bases for Calculating Transmission in the Drying Installation

The TE-Cilíndrico computer program was used to calculate the transmission, which allows calculations to be developed for the design of cylindrical gear transmissions in the MATHCAD 2000 Professional environment (Valdés y Laffita, 2012).

This computer program aims to determine the minimum dimensions, for which the danger of deterioration of the sprockets does not appear. The most rational solution to this problem is possible only by mutually relating the calculation of mechanical resistance and the geometry of the gear. In addition, the diffe-

Dimensiones de la tolva

La tolva es el elemento que almacena y distribuye el grano hacia la cámara de secado y el volumen de la misma depende de la cantidad de granos a procesar, y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$V = \left[\frac{h}{3} (a^2 + b^2 + \sqrt{a * b}) \right] + a^2 * c, m^3 \quad (5)$$

donde: V: Volumen de la tolva, m³; h: altura de la pirámide trunca- da, m; a: lado del prisma superior, m; b: lado inferior de la tolva del prisma inferior, m; c: altura del prisma superior, m.

Metodológicamente se utiliza para el diseño de la instala- ción de secado el programa SolidWorks 2017 el cual permite realizar la modelación en 3D, y los planos de piezas de cada parte componente de la instalación.

Bases teóricas para el cálculo de la potencia necesaria para mover el cilindro rotatorio de la instalación de secado

El elemento del sistema de reducción que genera la potencia necesaria para mover el cilindro rotatorio, es el motor eléctrico, los demás elementos del sistema de reducción de velocidad como la caja de engranajes, la correa, los piñones y la cadena se encargan de transmitir esta potencia al eje de transmisión que mueve el cilindro rotatorio. Para calcular esta potencia, se utiliza la ley de potencia que se muestra a continuación:

$$P_M = P_O \left(\frac{M_R}{M_O} \right)^{1/3}, hp \quad (6)$$

donde: P_M: Potencia nominal del motor eléctrico del sistema de reducción de velocidad, hp; M_R: Masa total a rotar, kg; (Funciones de partida: P_O = 0,5 hp, M_O = 10 kg).

Bases teórico-metodológicas para el cálculo de resistencia de la instalación de secado

Los cálculos de resistencia se basaron en la determinación del desplazamiento, tensiones unitaria y las tensiones resultantes aplicando la tercera hipótesis de resistencia (Von Mises) Miroliúbov (1979); Feodosiev (1980); Stiopin (1985), empleándose para ello el programa informático SolidWorks 2017, con el objetivo de determi- nar, la resistencia del cilindro, paletas, ejes de rodamientos, la tolva y la de la estructura completa de la instalación, a una fuerza de peso.

Bases teórico-metodológicas para el cálculo de la transmisión en la instalación de secado

Para el cálculo de la transmisión se emplea el programa in- formático TE-Cilíndrico, el cual permite desarrollar los cálculos para el diseño de las transmisiones por engranaje cilíndrico en ambiente MATHCAD 2000 Profesional (Valdés y Laffita, 2012).

Este programa informático tiene como finalidad determinar las dimensiones mínimas, para las cuales no aparece el peligro del deterioro de las ruedas dentadas, la solución más racional de este problema es posible sólo relacionando mutuamente el cálculo de re- sistencia mecánica y la geometría del engranaje. Además, se calculan los diferentes parámetros cinemáticos y las fuerzas que actúan sobre

rent kinematic parameters and the forces acting on the shafts or shafts of a cylindrical gear transmission with straight teeth are calculated. Likewise, the criterion used is the calculation of closed transmissions with a hardness of HB < 350. The fundamental calculation was the fatigue resistance of the working surfaces of the teeth and, as a check, the resistance to flexion fracture of the teeth for normal (uncorrected) wheels with an evolving profile and made of carbon steel (0,55%), with mechanical resistance of 70-75 kg/mm² hardness of 200-220 HB.

Theoretical Bases for the Calculation of Transmission by Cylindrical Gear with Straight Teeth

Based in the proposed by Dobrovolski (1980) y Reshetov (1980) for closed transmissions with HB < 350 hardness, taking as initial data the power at the input of the cylindrical gear from the energy source, the gear frequency of rotation and the gear ratio, as well as the type of material, the hardness of the wheel and pinion, the degree of precision, the load regime and the efficiency, it is possible to determine:

- Minimum axial distance between centers (b)
- Checking the assumed speed of the wheels (V_2)
- Readjustment of the axial distance value (\dot{a}).
- Gear module (m).
- Check of the flexural break of the pinion spur $[\sigma]_{\text{flex}}$
- Definitive axial distance (a).
- Wheel width (B₂).
- Primitive diameters of the pinion (d₁) and the wheel (d₂).
- Load on the shafts.

Theoretical Foundations for the Determination of Heat Transfer Mechanisms

One of the most important aspects to consider in the manufacture of thermal installations and devices is the selection of materials and of the drying method, considering the economic and energy aspects, for which the study of heat transfer mechanisms is required. Faires y Simmang (1978); Zuritz *et al.* (1990); Geankoplis (1998); Welti *et al.* (2005). To speed up these calculations, the Termotransf computer program is used.

RESULTS Y DISCUSSION

Results of the Design of the Industrial Grain Drying Facility

The conceived dryer constitutes a batch drying installation, to which the grain is supplied through a storage hopper with a capacity of one ton (1000 kg). Once the drying process has started the grain moves by gravity through the interior of the horizontally positioned rotary cylinder type drying chamber, through which a flow of hot air circulates, which is supplied by a diesel burner. The rotary cylinder is supported by four bearings that are those that allow its rotational movement, which is achieved by means of a motor-reducer, all this coupled on a frame.

los árboles o ejes de una transmisión por engranaje cilíndrico de dientes rectos. Así mismo el criterio que se utiliza es el cálculo de las transmisiones cerradas con una dureza HB < 350, siendo el cálculo fundamental la resistencia a la fatiga de las superficies de trabajo de los dientes y como comprobación la resistencia a la fractura por flexión de los dientes, para ruedas normales (no corregidas) de perfil evolvente y fabricadas de acero al carbono (0,55%), con resistencia mecánica de 70-75 kg/mm² dureza de 200-220 HB.

Bases teóricas para el cálculo de transmisión por engranaje cilíndrico de dientes rectos

Sobre la base de lo planteado por Dobrovolski (1980) y Reshetov (1980), para transmisiones cerradas con dureza HB < 350 de las ruedas y los piñones, teniéndose como datos iniciales: potencia a la entrada del piñón proveniente de la fuente energética, la frecuencia de rotación del piñón, y la relación de transmisión, así como el tipo de material, la dureza de la rueda y el piñón, el grado de precisión, el régimen de carga y la eficiencia, es posible determinar:

- Distancia axial mínima entre centros (b):
- Comprobación de la velocidad supuesta de las ruedas (V_2)
- Reajuste del valor de la distancia axial (\dot{a}).
- Módulo de engranaje (m).
- Comprobación a la rotura por flexión $[\sigma]_{\text{flex}}$ del diente del piñón.
- Distancia axial definitiva (a).
- Ancho de la rueda (B₂).
- Diámetros primitivos del piñón (d₁) y la rueda (d₂).
- Carga sobre los árboles.

Fundamentos teóricos para la determinación de los mecanismos de transferencia de calor

Uno de los aspectos más importantes a considerar en la fabricación de instalaciones y dispositivos térmicos, es la selección de los materiales y el método de secado, considerando los aspectos económicos y energéticos, para lo cual se requiere el estudio de los mecanismos de transferencia de calor. Faires y Simmang (1978); Zuritz *et al.* (1990); Geankoplis (1998); Welti *et al.* (2005). Para agilizar estos cálculos se emplea el programa informático Termotransf.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del diseño de la instalación de secado industrial de granos

El secador concebido constituye una instalación de secado en tanda, a la cual le es suministrado el grano mediante una tolva de almacenamiento con una capacidad de una tonelada (1000 kg), una vez comenzado el proceso de secado el grano se desplaza por gravedad por el interior de la cámara de secado tipo cilindro rotatorio colocado horizontalmente, a través de la cual circula un caudal de aire caliente que es suministrado mediante un quemador diésel; el cilindro rotatorio se apoya en cuatro rodamientos que son los que permiten su movimiento de rotación, el cual se logra mediante un motor-reductor, todo esto acoplado sobre un bastidor.

Inside the cylinder there are a series of paddles or welded fins that promote the lifting and turning of the grain, allowing better contact between the grain and the hot air stream.

Considering the main grains that are produced in Cuba, Table 1 shows their physical properties, as well as the conditions they must have during the drying process for the grains to retain their quality.

En el interior del cilindro se dispone de una serie de paletas o aletas soldadas que favorecen la elevación y el volteo del grano, lo que permite un mejor contacto entre el grano y la corriente de aire caliente.

Considerándose los principales granos que se producen en Cuba, en la Tabla 1, se muestran sus propiedades físicas, así como las condiciones que deben tener durante el proceso de secado para que los granos conserven su calidad.

TABLE 1. Properties of grains of paddy rice, corn and black beans
TABLA 1. Propiedades de los granos de arroz, maíz y frijoles

Grain type	Paddy Rice	Black bean	Corn
Bulk density; kg/	500 - 630	750 - 850	700 – 820
Specific volume; /t	1,6	1,3	1,8
Moisture extraction; %/h	<1	<3	< 5
Maximum drying temperature; °C	40	40	40
Initial Moisture Content, %	20-25	20-25	20-25
Final Moisture Content, %	12-14	12-14	12-14
Retention time, h	8	3,6	2

Source: Casini *et al.* (2006); FAO (2019)
Fuente: Casini *et al.* (2006); FAO (2019)

Design and Dimensioning of the Grain Inlet Hopper

AISI 304 steel with a thickness of 2.5 mm was selected for the design and dimensioning of the grain inlet hopper. From the maximum specific volume of possible grains to be processed in the conceived installation, a hopper volume of 2 m³ was considered, for a hopper capacity of 1 000 kg (1t).

Design and Dimensioning of the Rotating Cylinder

Considering that the grain represents at most only 50% of the volume of the rotary cylinder or drying chamber, so that it can move, through the action of the rotary movement of the cylinder and the blades, the remaining volume allows the volumetric flow of air efficiently traverses the grain mass placed inside the drying chamber. Table 2 shows the results of the dimensioning of the rotary cylinder.

Diseño y dimensionamiento de la tolva de entrada del grano

Para el diseño y dimensionamiento de la tolva de entrada del grano se seleccionó acero AISI 304, con un espesor de 2,5 mm. A partir del máximo volumen específico de los posibles granos a procesar en la instalación concebida, se consideró un volumen de la tolva de 2 m³, para una capacidad en la tolva de 1 000 kg (1t).

Diseño y dimensionamiento del cilindro rotatorio

Considerándose que el grano representa como máximo solo el 50% del volumen del cilindro rotatorio o cámara de secado, para que el mismo pueda moverse, mediante la acción del movimiento rotatorio del cilindro y las paletas, el volumen restante permite que el flujo volumétrico del aire atraviese de forma eficiente la masa de granos colocada en el interior de la cámara de secado. En la Tabla 2 se muestran los resultados del dimensionamiento del cilindro rotatorio.

TABLE 2. Rotary cylinder dimensioning
TABLA 2. Dimensionamiento del cilindro rotatorio

Diameter, m	Length, m	Thickness, m	Mass, kg	Weight, N	Volume, m ³
1,0	4,5	0,002	595	5831	3,6

As a result of the design, the rotary cylinder resistance calculations were performed, considering the mass of grains that can potentially be processed, and the properties of the material used, which was AISI 304 stainless steel.

To determine these values, the mass of grains to be dried (1000 kg) was taken as a reference, considering both the capacity of the hopper and the rotating cylinder.

As observed in Figure 1 (a), the maximum Von Mises stresses are obtained in the bearing guide, reaching a value of 2,5. 106 N / m², which is less than the maximum admissible tension of the material in 1,6. 108 N / m². When observing the displacement (Figure 1 b), it is evident that the maximum

Como resultado del diseño se realizaron los cálculos de resistencia del cilindro rotatorio, considerándose la masa de granos que potencialmente se puede procesar, y las propiedades del material empleado, el cual fue acero inoxidable AISI 304.

Para determinar estos valores se tomó como referencia la masa de granos a secar (1000 kg), considerando para ello tanto la capacidad de la tolva, como del cilindro rotatorio.

Como se observa en la (Figura 1a), las máximas tensiones de Von Mises se obtienen en la guía de rodamiento, alcanzando un valor de 2,5·10⁶ N/m², siendo inferior a la tensión máxima admisible del material en 1,6·10⁸ N/m². Al observarse el desplazamiento (Figura 1b), se evidencia que el valor máximo se

value is obtained at the ends of the rotating cylinder reaching a value of 0,016 mm and in the specific case of unit deformation (Figure 1 c), it reached a maximum value of $8,7 \cdot 10^{-6}$. As it is evident, the structure of the rotating cylinder resists the loads to which it is subjected.

obtiene en los extremos del cilindro rotatorio alcanzando un valor de 0,016 mm y en el caso específico de la deformación unitaria (Figura 1c), esta alcanzó un valor máximo de $8,7 \cdot 10^{-6}$; como se evidencia la estructura del cilindro rotatorio resiste las cargas a las que es sometido.

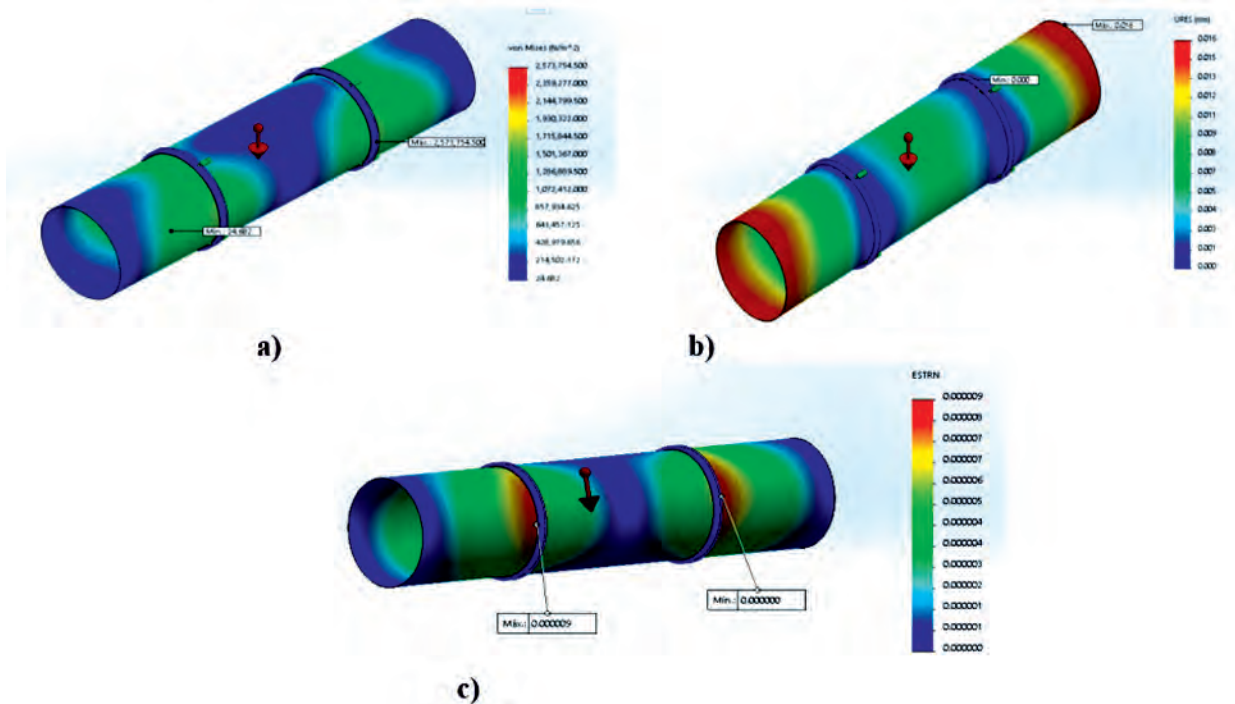


FIGURE 1. Values of structural resistance of the rotating cylinder: a) Von Mises stresses, b) displacement and c) unit deformations.
 FIGURA 1. Valores de resistencia estructural del cilindro rotatorio: a) Tensiones de Von Mises, b) desplazamiento y c) deformaciones unitarias.

Design and Dimensioning of the Inner Blades of the Rotating Cylinder

In order to size the blades, it was taken into account that they do not reach the total length of the cylinder to avoid mechanical damage to the grain by contact with the blades and covers of the rotating cylinder. Table 3 shows their dimensioning.

Diseño y dimensionamiento de las paletas interiores del cilindro rotatorio

Para realizar el dimensionamiento de las paletas, se tuvo en cuenta que las mismas no alcanzan el largo total del cilindro para evitar daños mecánicos del grano por contacto con las paletas y tapas del cilindro rotatorio. En la Tabla 3 se pueden observar el dimensionamiento de las mismas.

TABLE 3. Blade dimensions
 TABLA 3. Dimensiones de las paletas

Length, mm	Width, mm	Thicknes, mm	Angle of repose
4100	150	2	150°

As part of the design result, the resistance calculations of the blades were performed, considering the total mass of the grain that can potentially be processed, and the properties of the material used, which was AISI 304 stainless steel.

To determine these values, it was taken as a reference that a third of the mass of grains to dry (333,3 kg), is the one that exerts a load on the structure of the blades.

As observed in Figure 2 (a), the maximum Von Mises stresses are obtained at the base of the blades, reaching a value of $7,596 \cdot 10^7$ N / m², being less than the maximum allowable stress of the material at $1,308 \cdot 10^8$ N/m². When observing the displacement (Figure 2 b), it is evident that

Como parte del resultado del diseño se realizaron los cálculos de resistencia de las paletas, considerándose la masa total del grano que potencialmente se puede procesar, y las propiedades del material utilizado el cual fue acero inoxidable AISI 304.

Para determinar estos valores se tomó como referencia que un tercio de la masa de granos a secar (333,3 kg), es la que ejerce una carga sobre la estructura de las paletas.

Como se observa en la (Figura 2a), las máximas tensiones de Von Mises se obtienen en la base de las paletas, alcanzando un valor de $7,596 \cdot 10^7$ N/m², siendo inferior a la tensión máxima admisible del material en $1,308 \cdot 10^8$ N/m². Al observarse el desplazamiento (Figura 2b), se evidencia que el valor máximo se

the maximum value is obtained along the tip of the blades, reaching a value of 2,6 mm and in the specific case of unit deformation (Figure 2 c), it reached a maximum value of $2,38 \cdot 10^{-4}$. As it is evident, the structure of the blades resists the loads to which they are subjected.

obtiene a lo largo de la punta de las paletas, alcanzando un valor de 2,6 mm y en el caso específico de la deformación unitaria (Figura 2c), esta alcanzó un valor máximo de $2,38 \cdot 10^{-4}$; como se evidencia la estructura de las paletas resiste las cargas a las que se someten.

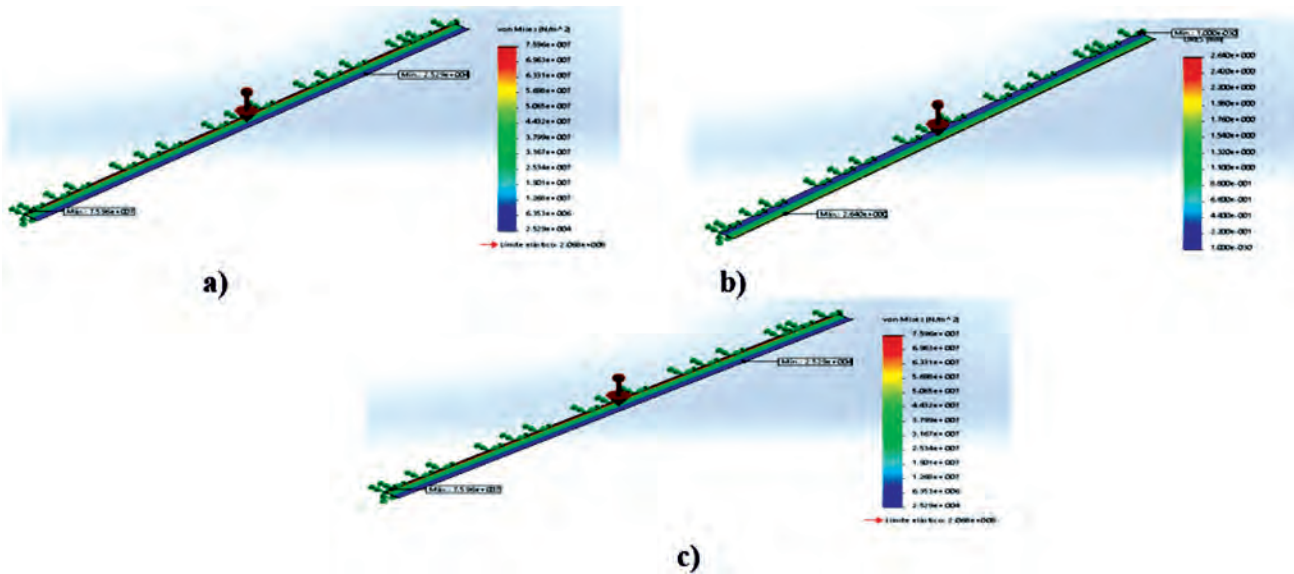


FIGURA 2. Values of structural resistance of the blades: a) Von Mises stresses, b) displacement and c) unit deformations.
 FIGURA 2. Valores de resistencia estructural de las paletas: a) Tensiones de Von Mises, b) desplazamiento y c) deformaciones unitarias.

Selection and Dimensioning of Bearings

The selection of the bearings was made on the basis of the useful life of the proposed drying installation, considering a period of 10 years for this. Using the bearing calculation methodology of the SolidWorks 2017 program and the SKF catalog, the required bearing calculations were carried out, for a duration of 10 years. Considering the maximum load acting on the bearing (4 542,09 N), which constitutes a quarter of the weight exerted by the cylinder mass plus the mass of the grains to be processed. The results obtained are shown in Table 4.

Selección y dimensionamiento de los rodamientos

La selección de los rodamientos se realizó sobre la base de la vida útil de la instalación de secado propuesta, considerándose para ello un periodo de 10 años. Con el empleo de la metodología de cálculo de rodamientos del programa SolidWorks 2017 y el catálogo SKF se realizaron los cálculos de los rodamientos requeridos, para una duración de 10 años. Considerándose la máxima carga que actúa sobre el rodamiento (4 542,09 N), la cual constituye la cuarta parte del peso que ejerce la masa del cilindro más la masa de los granos a procesar. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

TABLE 4. Bearings characteristics and sizing
 TABLA 4. Características y dimensionamiento de los rodamientos

Type of bearing	Ball stiff 6403
Reliability, %	99
Caliber, mm	35
Diameter, mm	100
Number of balls	8
Diameter of balls, mm	19,5
Capacity, N	61 784, 861

As it was evidenced, when comparing the actual load acting on the bearing and its capacity, this is 13,60 times higher than the actual load, an aspect that reveals that the dimensioning and type of bearing selected meets the technical requirements for which it is proposed.

Como se evidencia, al compararse la carga real que actúa sobre el rodamiento y la capacidad del mismo, esta es superior en 13,60 veces a la carga real, aspecto que revela que el dimensionamiento y tipo de rodamiento seleccionado, cumple con las exigencias técnicas para las que se propone.

Bearing Shaft Resistance Calculation

The bearing shafts are one of the parts most susceptible to mechanical damage, given that the entire weight of the insta-

Cálculo de resistencia del eje de los rodamientos

Los ejes de los rodamientos constituyen una de las partes más propensas a sufrir daños mecánicos, dado que sobre estos incide todo

llation and the grains to be processed affect them. The determination of the diameter of the shafts was carried out according to the measurements of the selected bearing, so its diameter will be 35 mm. The steel selected for the design was 45 steel, since it will be subjected to radial loads and is the most suitable material for shafts due to its properties and high machinability.

Axis resistance calculations were performed as part of the design result, for which the corresponding expressions were used, which consider the Von Mises criterion.

el peso de la instalación y los granos a procesar. La determinación del diámetro de los ejes, se realizó de acuerdo a las medidas del rodamiento seleccionado, por lo cual el diámetro del mismo será de 35 mm. El acero seleccionado para el diseño fue acero 45, ya que el mismo estará sometido a cargas radiales y es el material más indicado para los ejes por sus propiedades y alta maquinabilidad.

Como parte del resultado del diseño se realizaron los cálculos de resistencia de los ejes, para ello se emplearon las expresiones correspondientes, las cuales consideran el criterio de Von Mises.

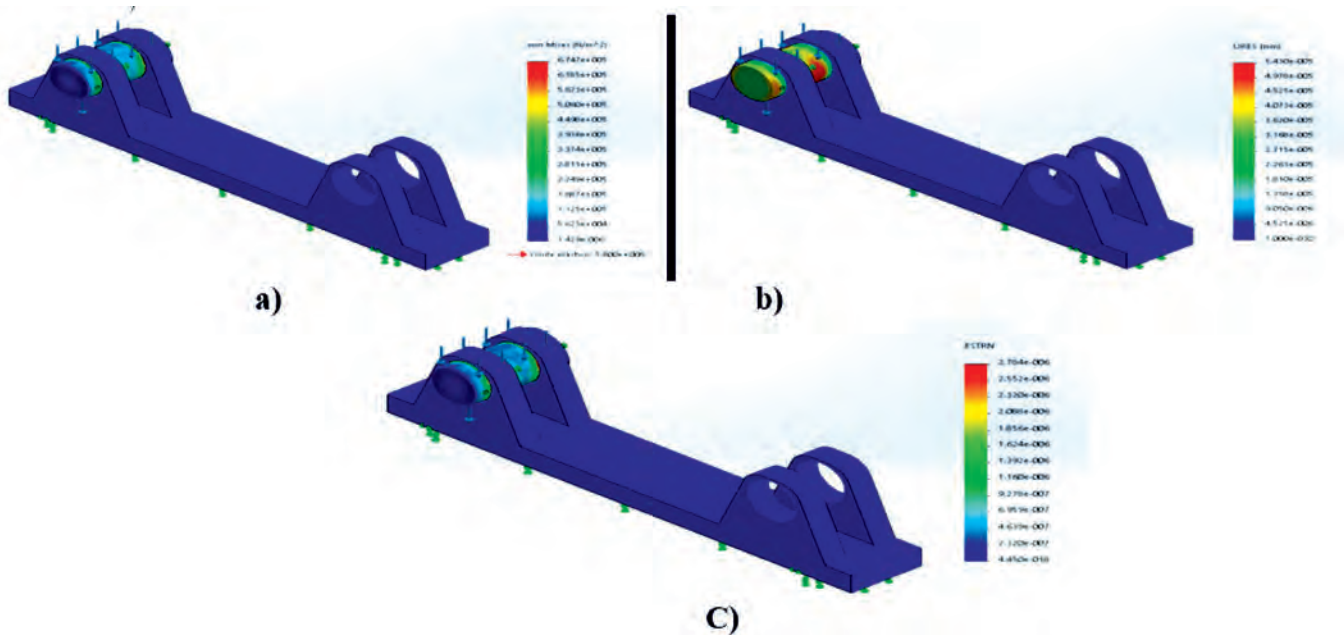


FIGURE 3. Values of structural resistance of the axes: a) Von Mises stresses, b) displacement and c) unit deformations.
 FIGURA 3. Valores de resistencia estructural de los ejes: a) Tensiones de Von Mises, b) desplazamiento y c) deformaciones unitarias.

To determine these values, the weight that each axle will support was taken as a reference; where the mass of grains to dry (1000 kg) would be involved, plus that of the rotary cylinder with its components (595 kg). Therefore, the weight that each axis must bear is 4 542,09 N. As observed in Figure 3 (a), the maximum stress of Von Mises reach a value of $6,74 \cdot 10^5$ N / m², which is less than the maximum tension admissible of the material at $5,79 \cdot 10^8$ N/m². When observing the displacement (Figure 3 b), it is evident that the maximum value reaches a value of $5,4 \cdot 10^{-5}$ mm and in the specific case of the unit deformation (Figure 3 c), it reached a maximum value of $2,78 \cdot 10^{-6}$. As it is evident, the structure of the shafts resists the loads to which they will be subjected.

Determination of the Necessary Power of the Gear Motor to Move the Rotary Cylinder and the Grain Mass

To calculate the power required to move the rotary cylinder, the mass of the rotary cylinder and the mass of the grain (which are 595 kg and 1000 kg, respectively), were considered. Obtaining as a result a minimum necessary power of 2,71 hp.

Para determinar estos valores se tomó como referencia el peso que soportará cada eje; donde estaría involucrada la masa de granos a secar (1000 kg), más la del cilindro rotatorio con sus componentes (595 kg). Por lo el peso que deberá soportar cada eje es de 4 542,09 N. Como se observa en la (Figura 3a), las máximas tensiones de Von Mises alcanzan un valor de $6,74 \cdot 10^5$ N/m², siendo inferior a la tensión máxima admisible del material en $5,79 \cdot 10^8$ N/m². Al observarse el desplazamiento (Figura 3b), se evidencia que el valor máximo alcanza un valor de $5,4 \cdot 10^{-5}$ mm y en el caso específico de la deformación unitaria (Figura 3c), esta alcanzó un valor máximo de $2,78 \cdot 10^{-6}$; como se evidencia la estructura del eje resiste las cargas a las que estarán sometidos.

Determinación de la potencia necesaria del motor-reductor para mover el cilindro rotatorio y la masa de granos

Para realizar el cálculo de la potencia necesaria para mover el cilindro rotatorio, se consideró la masa del cilindro rotatorio y la masa del grano, las cuales son 595 kg y 1000 kg, respectivamente. Obteniéndose como resultado una potencia mínima necesaria de 2,71 hp.

Using the Catalog UNE-EN-ISO 9001: 2000 (2003), the motor-reducer selection was made. As the power in the catalog is 0,25 hp to 25 hp, a gear motor with a power of 3 hp (2,23 kW) was selected.

It was selected a gear reduction motor (MRC230), with an output rotation frequency of 90 rpm, a gear ratio of $i=16$, an output torque of 225 Nm, and a mass of 44 kg. Therefore, when using the methodology described in Resolution No. 28-2011, regarding the Electric Rate System for the Non-Residential Sector, considering only the time of day, as well as the operating time of the motor-reducer for each grain to be processed, there would be an expense for electricity for rice, corn and beans of 0,18 peso/ h; 0,047 peso / h and 0,085 peso/ h, respectively.

Calculation and Design of Spur Gear Transmission

The calculation of the main parameters was made taking into account the characteristics of the selected motor and taking into account that the driven wheel must rotate at low revolutions between 5 and 10 rpm, choosing the average value of 7,5 rpm, a value that allows establishing a relationship transmission $i=12$, from which the values of the fundamental geometric parameters for the design were obtained (Table 5).

The material used in the transmission was 45 steel, which has a flexural strength of 532 MPa, proving to be the most suitable for the selected transmission. The difference between the admissible and real stresses was 269,069 MPa, so the design of the transmission will resist the forces to which it is subjected.

Con el empleo del catálogo UNE-EN-ISO 9001: 2000 (2003), se realiza la selección del motor-reductor. Como la potencia en el catálogo es de: 0,25 hp a 25 hp se selecciona un motor-reductor con una potencia de 3 hp (2,23 kW).

Seleccionado un motor reductor de engranajes (MRC230), con una frecuencia de rotación de salida de 90 min^{-1} , una relación de transmisión de $i = 16$, un par de salida de 225 $\text{N}\cdot\text{m}$, y una masa de 44kg. Por tanto, al emplearse la metodología descrita en la Resolución No. 28-2011 referente al Sistema de Tarifas Eléctricas para el Sector No Residencial, considerándose solamente el horario del día, así como el tiempo de explotación del motor-reductor para cada grano a procesar, se obtendría un gasto por concepto de electricidad para el arroz, el maíz y el frijol de 0,18 peso/h; 0,047 peso/h y 0,085 peso/h, respectivamente.

Cálculo y diseño de la transmisión por engranaje cilíndrico de dientes rectos

El cálculo de los principales parámetros se realizó teniendo en cuenta las características del motor seleccionado y teniendo en cuenta que la rueda conducida debe girar a bajas revoluciones entre 5 y 10 min^{-1} escogiéndose el valor medio de 7,5 min^{-1} que permite establecer una relación de transmisión $i = 12$, a partir de lo cual se obtienen los valores de los parámetros geométricos fundamentales para el diseño, los que se pueden observar en la Tabla 5.

El material utilizado en la transmisión es acero 45 el cual tiene una resistencia a la flexión de 532 MPa, resultando ser el más adecuado para la transmisión seleccionada obteniéndose una diferencia entre las tensiones admisibles y las reales de 269,069 MPa, por lo que el diseño de la transmisión resistirá las fuerzas a las que está sometida.

TABLE 5. Results of the fundamental geometric and dynamic parameters
TABLA 5. Resultados de los parámetros geométricos y dinámicos fundamentales

Calculated parameters	Value
Cylindrical gear angular speed (ω_p), rad/s	9,5
Wheel angular speed (ω_r),rad/s	0,78
Axial distance (a), mm	550,65
Wheel width (B_2), mm	130
Width of cylindrical gear (B_1), mm	135
Wheel primitive diameters (d_2), mm	1 200
Cylindrical gear primitive diameters (d_1), mm	100
Torque moment to transmit by the cylindrical gear (M_t), Nm	233,4
Peripheral force acting on shafts, N	4 669
Radial force acting on the shafts,N	10 440
Allowable normal stress at break by bending, MPa	272,821
Real normal stress at break by flexion, MPa	3,752

Determination of the Necessary Heat and Efficiency to Dry the Grain inside the Drying Chamber

The heat flow required to dry the grain and the drying efficiency. For this, it was necessary to determine different parameters, such as the temperature of the wet bulb, for which the ambient temperature was considered, the air temperature at the outlet, for a number of transfer units of 1.5 and an inlet temperature of 40 °C.

The air mass flow reached a value of 1,92 kg/s, for a speed of 1,5 m/s, an air density of 1 kg/m^3 and a cross-sectional area of

Determinación del calor necesario y eficiencia para secar el grano en el interior de la cámara de secado

El flujo de calor necesario para secar el grano y la eficiencia del secado. Para la misma se hizo necesario la determinación de distintos parámetros, tales como: la temperatura del bulbo húmedo, para la cual se consideró la temperatura ambiente, la temperatura del aire a la salida, para un número de unidades de transferencia de 1,5 y una temperatura de entrada de 40 °C.

El flujo másico del aire alcanzó un valor de 1,92 kg/s , para una velocidad de 1,5 m/s, una densidad del aire de 1 kg/m^3 y un

0,78 m², another important data consider is the calorific capacity of air, which has a value of 1,005 kJ / kg°K. (Table 6).

área transversal de 0,78 m², otro dato importante a considerar es la capacidad calórica del aire, la cual tiene un valor de 1,005 kJ/ kg°K. En la Tabla 6 se pueden observar los resultados obtenidos.

TABLE 6. Results of the necessary heat and the efficiency of the drying installation
TABLA 6. Resultados del calor necesario y la eficiencia de la instalación de secado

Calculated parameters	Value
Outlet air temperature, °C	25,1
Wet bulb temperature, °C	23,3
Temperature transferred by the cylinder without considering thermal insulation, °C	36,85
Mass air flow, kg/s	1,92
Required heat, kW	28,75
Efficiency, %	89,2

Taking into account the heat flow necessary to dry the grain, using the catalog Rigor Tecnológico y Respeto Ecológico, a diesel burner G Series SO 2001/2003 * - GOH 2001 is selected, which has a fuel cost of 2,91 L / h.

Knowing the hourly fuel cost and the time required (Table 1) for drying the grains: rice, beans and corn in the conceived installation, it is obtained that the specific fuel consumption for each grain amounts to 23,2 L/t, 10,44 L/t and 6,38 L/t.

Economic Evaluation of the Design Obtained in the Research

The proposed design, shown in Figure 4, reaches an amount of 10 450,25 Total Currency (5 861,40 CUC and 4 588,86 CUP), representing approximately 34,8% of the minimum price of similar facilities on the international market. This aspect demonstrates the economic feasibility of the proposal.

Teniendo en cuenta el flujo de calor necesario para secar el grano, se selecciona con el empleo del catálogo Rigor Tecnológico y Respeto Ecológico, un quemador diésel Serie G SO 2001/2003* - GOH 2001, el cual tiene un gasto de combustible de 2,91 L/h.

Conociéndose el gasto horario de combustible y el tiempo requerido (Tabla 1) para el secado de los granos: arroz, frijol y maíz en la instalación concebida, se obtiene que el consumo específico de combustible para cada grano, asciende a 23,2 L/t, 10,44 L/t y 6,38 L/t.

Valoración económica del diseño obtenido en la investigación

El diseño propuesto, mostrado en la Figura 4, alcanza un monto de 10 450,25 Moneda Total (5 861,40 CUC y 4 588,86 CUP), representando aproximadamente el 34,8% del precio mínimo de instalaciones similares en el mercado internacional; este aspecto demuestra la factibilidad económica de la propuesta.

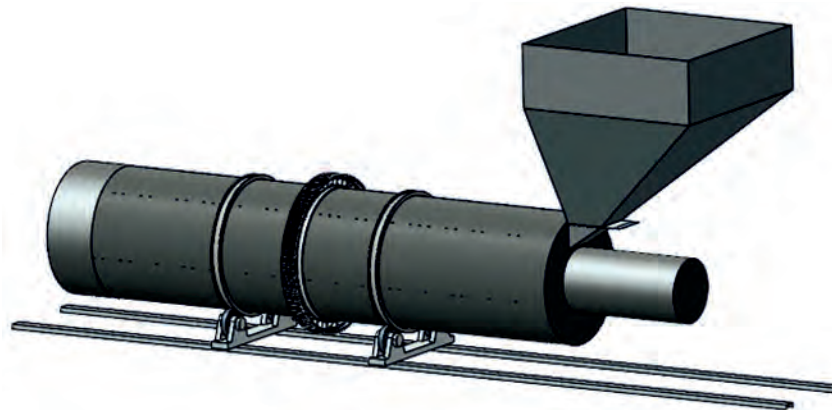


FIGURE 4. Isometric of the conceived drying installation.
 FIGURA 4. Isométrico de la instalación de secado concebida.

CONCLUSIONS

- The proposed theoretical-methodological foundations made it possible to establish the design parameters for a rotary cylinder-type industrial grain dryer.
- Using SolidWorks, MATHCAD 2000 Professional and Termotransf, the thermal and kinetic modeling of the conceived design were carried out, as well as the determination of the main design parameters and selection of component parts.

CONCLUSIONES

- Los fundamentos teórico-metodológicos planteados posibilitaron establecer los parámetros de diseño para un secador industrial de granos tipo cilindro rotatorio.
- Con el empleo de las herramientas informáticas SolidWorks, MATHCAD 2000 Profesional y Termotransf, se realizaron la modelación térmica y cinética del diseño concebido, así como la determinación de los principales parámetros de diseño y selección de partes componentes.

- The total heat to be generated inside the proposed drying installation amounts to 28,75 kW with an efficiency of 89,2%, which demonstrates its functionality.
- The proposed design reaches an amount of 10 450,25 Total Currency (5 861,40 CUC and 4 588,86 CUP), representing 34,8% of the minimum price for similar facilities in the international market.
- El calor total a generarse en el interior de la instalación de secado propuesta, asciende a 28,75 kW con una eficiencia de 89,2%, lo que demuestra la funcionalidad del mismo.
- El diseño propuesto alcanza un monto de 10 450.25 Moneda Total (5 861.40 CUC y 4 588.86 CUP), representado el 34,8% del precio mínimo de instalaciones similares en el mercado internacional.

REFERENCES

- AGRIESPO: *Catálogos AGRIESPO*, [en línea], AGRIESPO, 2019, Disponible en: <http://www.agriexpo.online/es consultado>.
- ANTONINHO, V.M.D.; MARQUES, J.A.; SINICIO, R.: *Secado de Granos: Natural, Solar y a Bajas Temperaturas*, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, Chile, 1991.
- BOFFA, G.; DEUTSCHMAN, A.M.; CASIELLO, F.A.; GALARETTO, O.: "Secado industrial de granos de origen agrícola: estado del arte, herramientas de cálculo en la determinación de parámetros psicrométricos del aire de secado y aplicación de redes neuronales al control de procesos de secado", *Energía*, 10(10), 2012, Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/rev.pdf>.
- CASINI, C.; RODRÍGUEZ, J.C.; BARTISIK, R.: *Secado de granos, Proyecto eficiencia de cosecha y poscosecha, Actualización técnica PRECOP mas granos con más calidad N0 16*, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Córdova, España, 2006.
- CASTAÑO, F.; RUBIO, F.R.; ORTEGA, M.G.: "Modelado de Secaderos Rotatorios en Isocorriente", *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, 6(4): 32-33, 2009, ISSN: 1696-7912.
- CUBILLOS, A.; BARRERO, O.: "Diseño e implementación de una estrategia de control predictivo para el secado de arroz paddy", *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 56: 78-86, 2010, ISSN: 0120-6230.
- DOBROVOLSKI, V.: *Engranajes generales y cilindricos dientes rectos*, Editorial MIR, Moscú, Rusia, URSS, 246-301 p., 1980.
- FAIRES, V.M.; SIMMANG, C.M.: *Thermodynamics*, Ed. Editorial MacMillan, USA, 578-600 p., 1978, ISBN: 0-02-335530-1.
- FAO: *Equivalencia de diversas unidades mundiales*, [en línea], FAO, 2019, Disponible en: www.fao.org.
- FEODOSIEV, V.I.: *Resistencia de Materiales*, Editorial Mir, Moscú, Rusia, URSS, 1980.
- GEANKOPLIS, C.J.: *Procesos de transporte y operaciones unitarias.*, Compañía Editorial Continental, Universidad de Minnesota, Tercera Edición, México D. F., 1998, ISBN: 968-26-1316-7.
- LISBOA, M.H.; VITORINO, D.S.; DELAIDA, W.B.; FINZER, J.; BARROZO, M.: "A Study of Particle Motion in Rotary Dryer", *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 24(3), 2007, ISSN: 0104-6632.
- MIROLIÚBOV, I.: *Problemas de Resistencia de Materiales*, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 1979.
- RESHETOV, D.: *Diseño y Elementos de máquinas*, Editorial MIR, Moscú, Rusia, URSS, 1980.
- SOLIVA-FORTUNY: *Effect of minimum processing on the texture properties of fresh-cut pears*, no. 82, *SCI Food Agric.* 82, 1688-1862 p., 2002.
- STIOPIN, P.A.: *Resistencia de Materiales*, Editorial Mir, Moscú, Rusia, URSS, 1985.
- UNE-EN-ISO 9001: 2000: *Catálogo General, Comercialización y reparación de equipos de transmisión de potencia*, Actor Gerima S.A, Barcelona, España, 2003.
- VALDÉS, H.P.A.; LAFFITA, A.: *TE-Cilíndrico software para el diseño de las transmisiones por engranaje cilíndrico en ambiente MATH-CAD 2000 Profesional*, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Ingeniería, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2012.
- WELTI, C.J.; VELGARA, B.F.; BERMÚDEZ, A.D.: "Transport Phenomena in Food Engineering: Basic Concepts and Advances.", *Journal of Food Engineering*, 67: 113-128, 2005, ISSN: 0260-8774.
- ZURITZ, C.A.; MCCOY, S.; S K: "Convection heat transfer coefficients for irregular particles immersed in non-Newtonian fluids during tube flow", *Journal of Food Engineering*, 11: 159-174, 1990, ISSN: 0260-8774.

Yanoy Morejón-Mesa, Profesor Titular, Universidad Agraria de la Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: yymm@unah.edu.cu

Daniel Silva-Junco, Ingeniero egresado de la Universidad Agraria de la Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: yymm@unah.edu.cu

Yarian Reyes-Suárez, Ingeniero y especialista, Universidad Agraria de la Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria, Cuba, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: yarian@unah.edu.cu

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.