

DISEÑO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE GRANOS DE ARROZ PORTÁTIL CON CAPACIDAD DE SILO DE 7M3 PARA LOS PEQUEÑOS PRODUCTORES ARROCEROS DE LA REGION LAMBAYEQUE-PERÚ

DESIGN OF A PORTABLE RICE GRAIN DRYING MACHINE WITH SILO CAPACITY OF 7M3 FOR SMALL RICE PRODUCERS IN THE LAMBAYEQUE-PERU REGION

Jorge Alexander Cotrina Vilchez¹
Carlos Alexis Alvarado Silva²
Juan Carlos Vives Garnique³

Fecha de recepción: 15/12/20

Fecha de aceptación: 15/01/21

Resumen:

En el presente proyecto de investigación contempla el diseño de una máquina portátil del secado de grano de arroz, orientado en las necesidades del pequeño productor de arroz de la región Lambayeque y así incrementar el valor de su producción, con la optimización el secado tradicional en su proceso, obteniendo la humedad en un valor adecuado en el menor tiempo, mediante teorías científicas de diseño mecánico aplicando cálculo analítico, así mismo se realizará la simulación, diseño y ajustes de parámetros en SOLIDWORKS software de ingeniería. Además, el presente diseño busca optimizar recurso y economía haciendo que la máquina sea portátil utilizando como combustible la cascarilla de arroz con capacidad de silo de 7m³, en un sistema compacto de remolque, la cual soportará diferentes componentes del trabajo integrados los que brindaran los beneficios de una secadora industrial de arroz, considerando las normativas vehiculares vigentes, las que influyen en la optimización.

Palabras clave: Secado, cáscara de arroz, máquina portátil, simulación

Abstract:

This research project contemplates the design of a portable machine for drying rice grain, aimed at the needs of the small rice producer in the Lambayeque region and thus increasing the value of its production, with the optimization of traditional drying in its process, obtaining the humidity in an adequate value in the shortest time, by means of scientific theories of mechanical design applying analytical calculation, likewise simulation, design and parameter adjustments will be carried out in SOLIDWORKS engineering software. In addition, the present design seeks to optimize resources and economy by making the machine portable using as fuel the rice husk with a silo capacity of 7 m³, in a compact trailer system, which will support different components of the integrated work that will provide the benefits of an industrial rice dryer, considering the current vehicular regulations, which influence optimization.

Keywords: Drying, rice husk, portable machine, simulation

¹ Bachiller en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, cvilchezjorge@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0001-9176-6180>.

² Magister en Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, calvarados@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>

³ Magister en Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Pimentel-Chiclayo, Perú, jvives@crece.uss.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>

1. INTRODUCCIÓN

Conforme la última edición del “Informe del Arroz”, la región de Lambayeque según El Ministerio de Agricultura y Riego – Dirección General de Políticas Agrarias, a nivel nacional es la tercera región productora, que representa el 13% de la producción anual con una producción de 399038 toneladas en el 2016, obteniendo un promedio de 8 T/ha (toneladas por hectárea) de rendimiento. Así mismo, según MINAGRI-DGPA se obtuvo registro de 98 molinos en la región Lambayeque hasta el 2016 equivalente a una zona de alto potencial agrario. (MINAGRI, 2017)

Sin embargo, según el portal web del MINAGRI, en la actualidad, y referenciados en la OGPA/OEP (Oficina Nacional de Producción Agraria/Oficina de Estrategias y Políticas) el nivel nacional de productores ascendió de número de 70 471 a 100 000 productores, así mismo según DGIA (Dirección General de Información Agraria) “el financiamiento para el cultivo de arroz en su mayor parte depende de las industrias molineras”. Es común que en los molinos se encuentren toda clase de recursos que facilitan la producción como: insumos, asistencia técnica y dinero a los productores arroceros de la Selva alta y Costa, lo que hace mantener el compromiso de los productores y así vender toda la producción de cosecha. De esta manera, los cobros de los molinos a los productores por intereses se han convertido en uno de los ingresos más importantes junto a los que se registran por servicio de pilado. (Rodríguez et al., 2017)

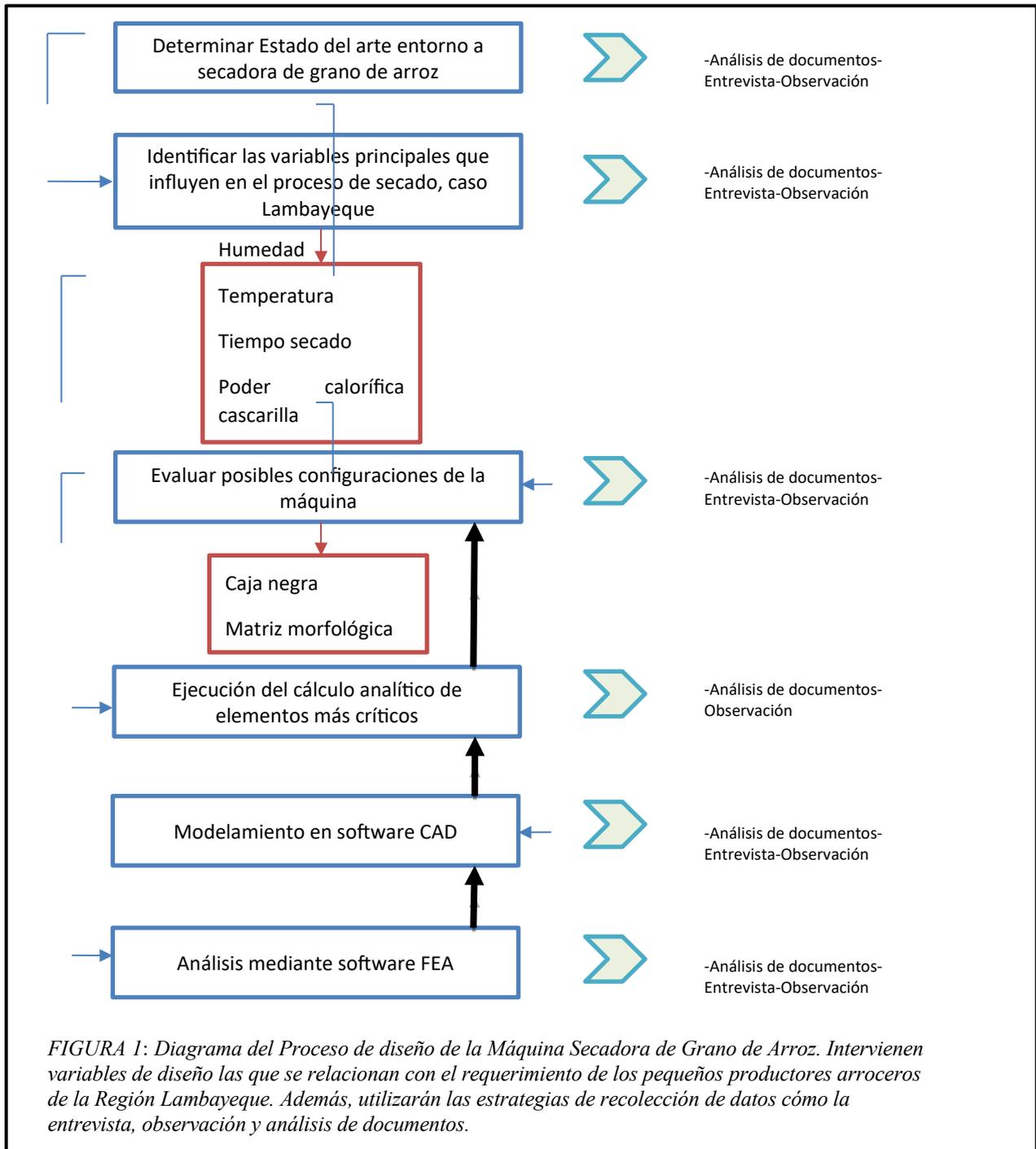
En este sentido la industria molinera en la selva esta expuesta a una fuerte competencia por parte de los molinos de Lambayeque, debido a su capacidad instalada ociosa, por lo que para ser rentables deben trabajar con los productores de arroz de la selva (San Martín, Amazonas y Cajamarca) asegurando el mayor ingreso por el interés, servicios de pilado y la comercialización del arroz (Bazán y Ulfe, 2019)

En ese sentido, los pequeños productores arroceros de Lambayeque se ven exigidos más por los productores de la selva a vender arroz de calidad con adecuado nivel de humedad por parte de los molinos de la región para una menor pérdida de grano (quebrado) mediante el proceso de pilado. (Miranda, Sangama y Flores, 2017)

En la actualidad, existen más de 1800 productores arroceros en la región de Lambayeque en su mayoría pequeños productores, de igual manera en el mercado existe un amplio servicio de cosecha mediante máquinas agrícolas, en su mayoría cada propietario tiene una capacidad de cosecha de 2.5 hectáreas con 2 máquinas por jornada de trabajo (8 horas) cada una, obteniendo un rendimiento de 5 hectáreas/día de cosecha, con una producción de 8 toneladas por hectárea de promedio y se estima una necesidad de secado de arroz con cáscara de 7 m³ por hora. El presente proyecto busca el diseño de un secador de granos de arroz que cuyo rendimiento sea el mayor optimizando materiales y componentes de fabricación, así como considerar la facilidad de traslado y portabilidad.

2. MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se considera tecnológica debido a que se pretende diseñar una máquina para el proceso de secado óptimo, contribuyendo a la innovación, resolviendo las deficiencias que acarrea un proceso artesanal, la cual sigue una serie de pasos para su modelado.



3. RESULTADOS

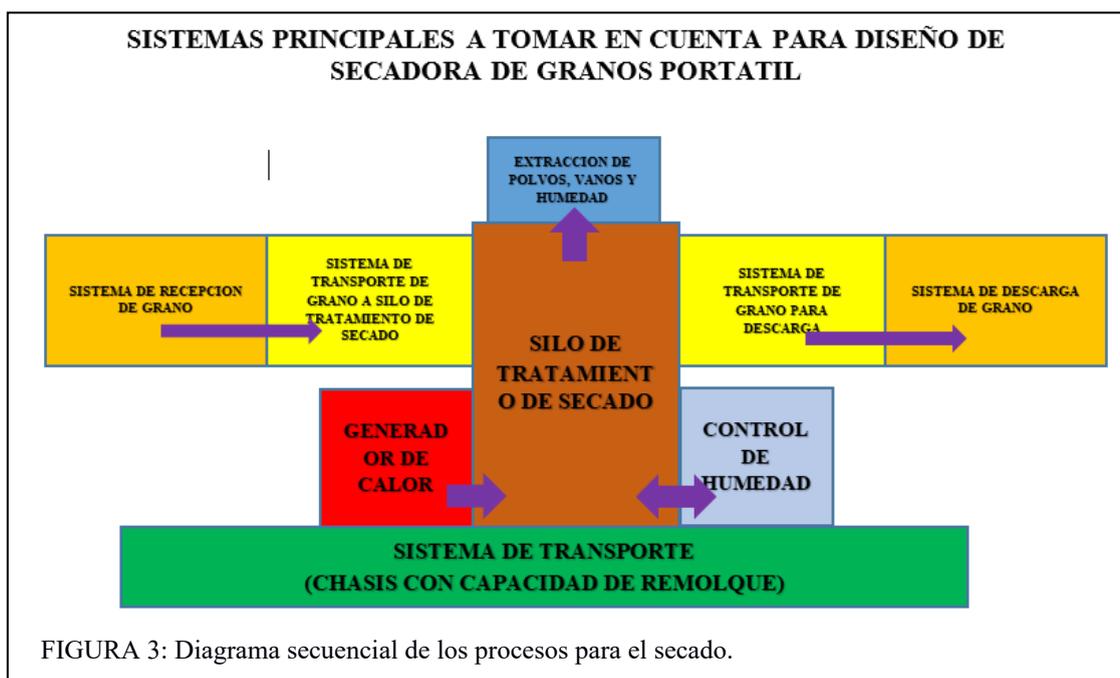
La investigación parte con una necesidad de diseño denominada “requerimiento de diseño” por lo que se realizaron entrevistas a diferentes expertos de plantas procesadoras de arroz, comercializadores en el rubro molinero que trabajan con máquinas, operadores de secadoras industriales, así como agricultores y principales productores arroceros de la región Lambayeque (Figura 2), pudiendo constatar que: los pequeños productores no cuentan con el recurso económico de la gran empresa, es por ello que no adquieren máquinas industriales de gran tamaño para la producción del secado, es así que optan por la tercerización del servicio y/o la renta de un equipo “pampas de secado”, y en otras ocasiones venden su producto a las grandes molineras a un precio relativamente bajo (pagándoles de acuerdo al grado de humedad; a mayor humedad menor costo), a diferencia de estas últimas que cuentan con secadoras de gran potencia.



FIGURA 2: Método de cosecha convencional en Región Lambayeque, recolección de información para los requerimientos de diseño
Fuente: Elaboración propia

Después de haber realizado el levantamiento de información se establece el requerimiento de diseño. La máquina contará con un mínimo de volumen de $7 m^3$ y siendo capaz de secar los granos de arroz hasta obtener 13 a 14 % de valores (INDECOPI, 2005) de la humedad lo cual es recomendable para la conservación correcta en el almacenamiento del grano, para su posterior pilado, de igual manera contará con una fuente de calor la cual es abastecida por un horno cuyo combustible es la cascarilla de arroz (que es barata, fácil de transportar, económica y de fácil abastecimiento) (Postcosecha, 2018).

Con la ayuda de toda la información previa fue posible generar un cuadro en donde se listan los deseos y exigencias del diseño de la máquina que debe cumplir,



este listado permite formular una estructura de las funciones conforme *Figura 3*.

Para efectos de diseño se considera; primero recepción de grano de arroz, seguido del transporte correcto del grano al silo de tratamiento, siendo parte principal contar con un sistema de transferencia de calor y sistema de generador de calor, así mismo de contar con un control de secado y al finalizar con un sistema de transporte de grano descargar grano seco.

Por otra parte, es primordial contar con criterios técnicos generales del diseño, como tener un sistema de transporte-remolque de la máquina secadora, con un sistema de anclaje para el trabajo, teniendo un sistema de generador de energía motriz y el sistema de combustible con abastecimiento.

Obteniendo así 3 alternativas de solución. La primera solución, (*Figura 4*), lo conforma una cámara rectangular de secado y contempla que todo el transporte de grano teniendo un proceso mediante fajas, teniendo en consideración la existencia de un operario encargado de la distribución del grano homogéneo.



FIGURA 4: Concepto de solución 1

La segunda alternativa de solución (*Figura 5*), propone una geometría hexagonal en la cámara de secado, presentando en el interior un conjunto de paletas para la producción secado del tipo rotatorio, para un transporte del grano hacia la cámara del secado se propuso el uso de un elevador de cangilones de tipo cadena y en la descarga final antes del despacho utilizar una zaranda vibratoria.

Por último, la tercera solución (*Figura 6*), la que manifiesta el ingreso de arroz a través de una tolva que recibirá el grano en forma piramidal para el posterior secado, para su transporte del producto hacia el silo de secado se propuso utilizar un tornillo horizontal-vertical de transporte cuya naturaleza sea compacta y sencilla, la cámara de secado es de una geometría cilíndrica, con facilidad para el mecanizado, y cuyo sistema de distribución de calor utiliza un mezclador. En este, el calor fluye mediante el uso de un horno que calienta el aire del ambiente para usarlo en el proceso del secado, además, para la descarga se propuso el uso del tornillo sinfín por su facilidad en el transporte de los granos.

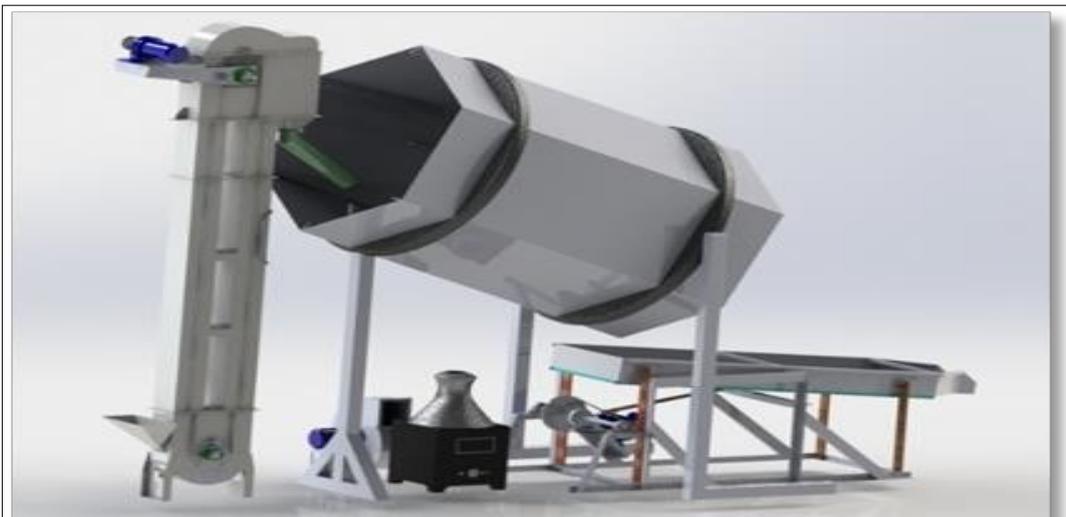


FIGURA 5: El concepto de solución 2

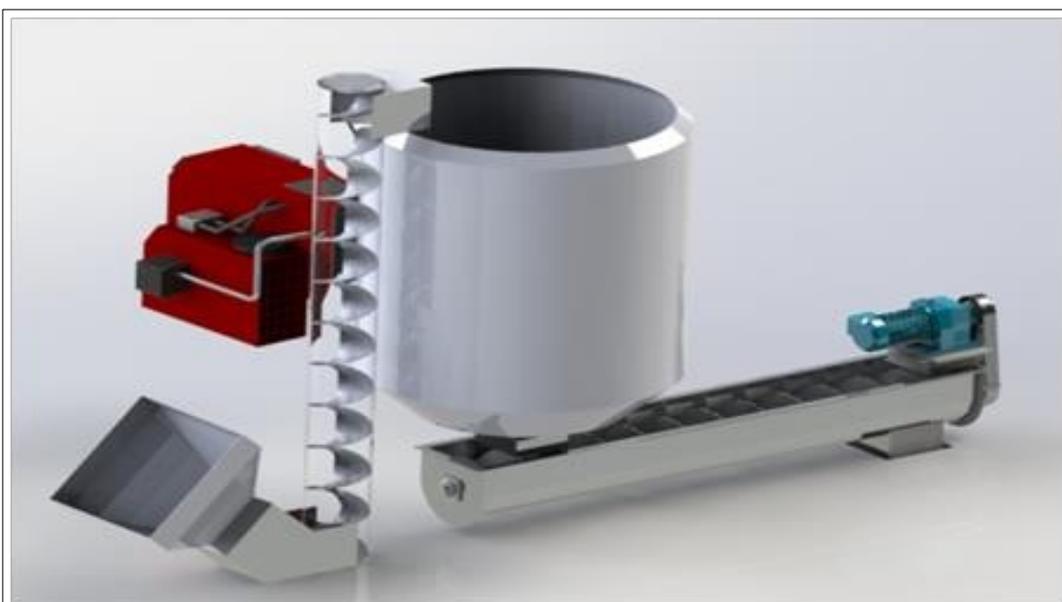


FIGURA 6: El concepto de solución 3

Teniendo en cuenta las tres propuestas, se escogió la mejor alternativa con la ayuda de una matriz de selección con atributos ponderados que está basado en la teoría de Eggert, con los siguientes criterios de evaluación: Manufacturabilidad, modularidad, control, montaje, costo y diseño. A dichos criterios se le asigna una ponderación según la importancia de cada uno, el puntaje que se asigna a cada alternativa del diseño fue dada de la siguiente manera: Excelente (5), Bueno (4), Regular (3), Malo (2), Muy malo (1), y la puntuación ponderada se obtuvo multiplicando el porcentaje (%) por la puntuación.

Los resultados de esta metodología arrojaron como mejor propuesta la configuración número 3.

Obtenida la mejor opción de solución, se emplearon bosquejos de diseño y cálculos matemáticos de los sistemas principales, con el fin de establecer las geometrías óptimas, teniendo en consideración las normas vigentes de vehiculares (MTC, 2003), el uso del medio local para la adquisición de materiales, fabricación y montaje.

Con los datos iniciales, el diseño continuó. Los datos principales fueron los valores de humedad relativa de la región, la temperatura requerida para el adecuado secado de grano de arroz (65°C) (de Dios, 1996), donde los valores óptimos de la humedad a lo que debería llegar (13%) y la humedad promedio del grano a la cosecha inicial, cuyos valores permiten general los cálculos del dimensionamiento del intercambiador de calor y de las medidas del horno teniendo en cuenta las propiedades térmicas del sistema (Echevarría y Reyes, 2016)

Finalizado el cálculo analítico, se obtuvieron las siguientes características para los equipamientos térmicos; el intercambiador de calor y el horno (Tabla 1):

Tabla 1
Datos preliminares del horno

Determinar Estado del arte entorno a secadora de grano de arroz	Temperatura del aire a la salida
	66.86°C

En la salida del horno la temperatura se obtiene mediante un proceso de simulación con el software de Solidworks, donde se plasman los datos de ingreso y se continua con un análisis térmico (Figura 7).

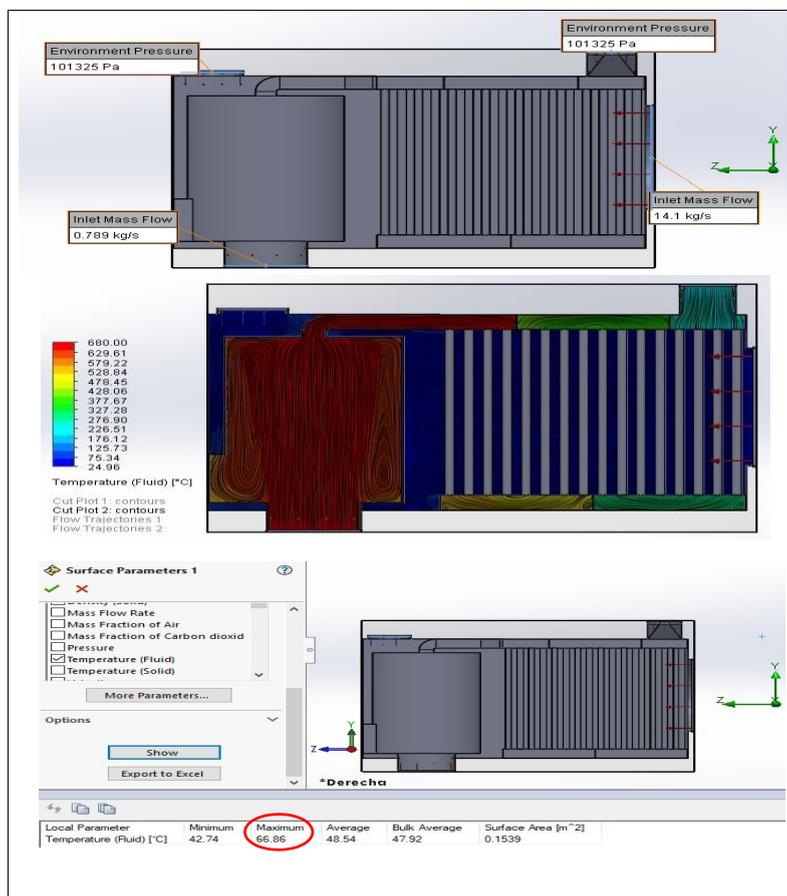


FIGURA 7: Simulación térmica #1

Sin embargo, una de las premisas de diseño de esta máquina fue la facilidad de transporte y almacenamiento (portátil) por lo que las medidas obtenidas por la simulación son medidas que complican un fácil transporte, en ese sentido, empleando se buscó la optimizaron de las medidas del horno con el mejor rendimiento térmico (Figura 8).

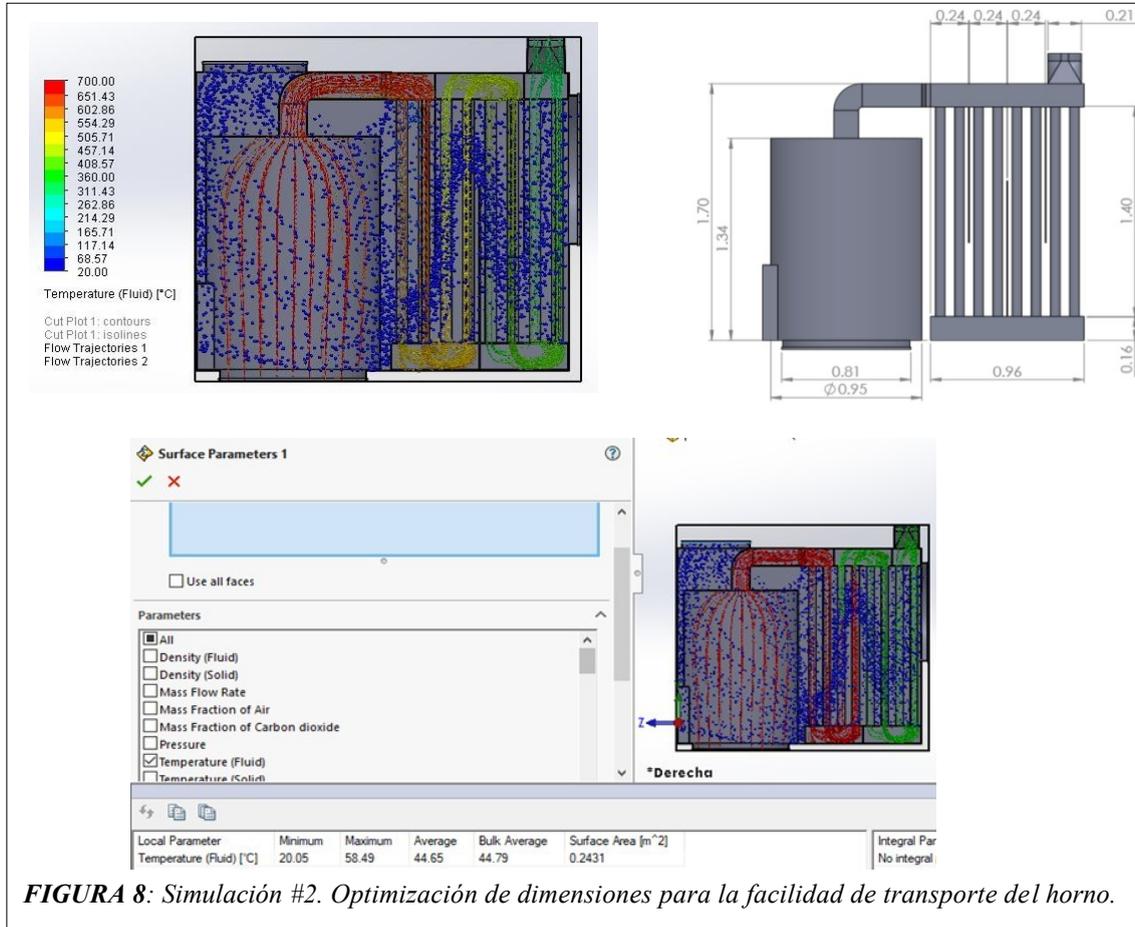


FIGURA 8: Simulación #2. Optimización de dimensiones para la facilidad de transporte del horno.

Después de la optimización se obtuvo los datos de la Tabla 2.

Tabla 2
Datos de segundo horno

Nº de tubos	Dimensiones generales (largo/alto/ancho) en “m”	Temperatura del aire a la salida
76	2.03/1.71/1.21	58.49°C

Así mismo, el diseño del almacenamiento del silo fue desarrollado en Solidworks donde el tamaño y su geometría dependieron de las funciones requeridas, tales como el volumen del almacenamiento, las propiedades del material almacenado, el sistema de descarga, consideraciones del tipo económica de manufactura y el espacio disponible, considerando el reglamento en las medidas según el ministerio de transportes, se obtuvieron las medidas conforme la Figura 9.

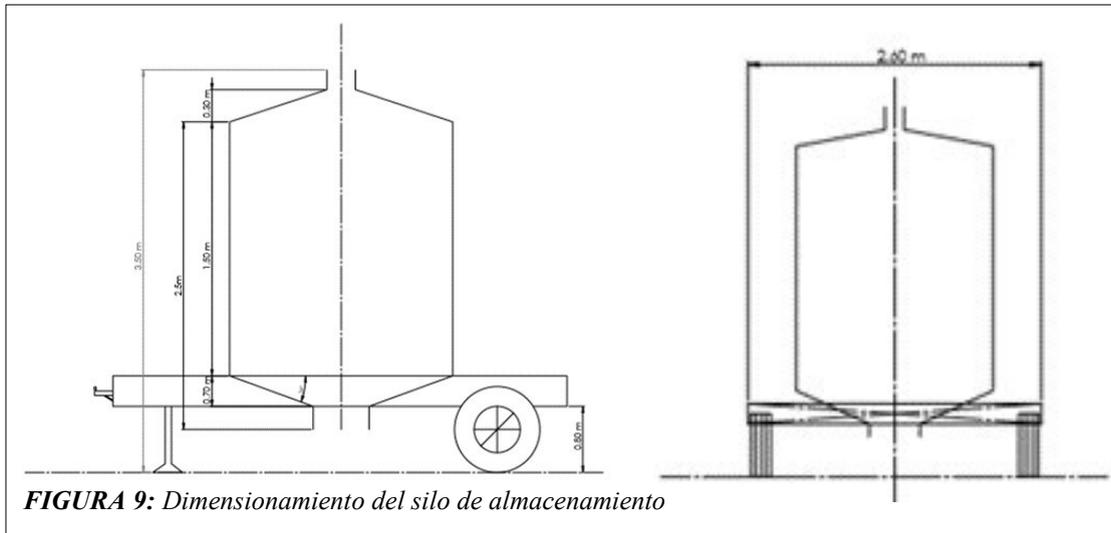


FIGURA 9: Dimensionamiento del silo de almacenamiento

Una vez definidas las dimensiones del silo se procedió con el análisis mediante simulaciones estáticas en el software Solidworks, (Figura 10), el cual permitió la detección de posibles fallas a tiempo debido a las deformaciones excesivas en la pared inferior del silo (Díaz, 2018), dicha falla se solucionó generando soportes a todo largo de la pared, teniendo como resultado en la simulación una leve deformación máxima de 0.5mm

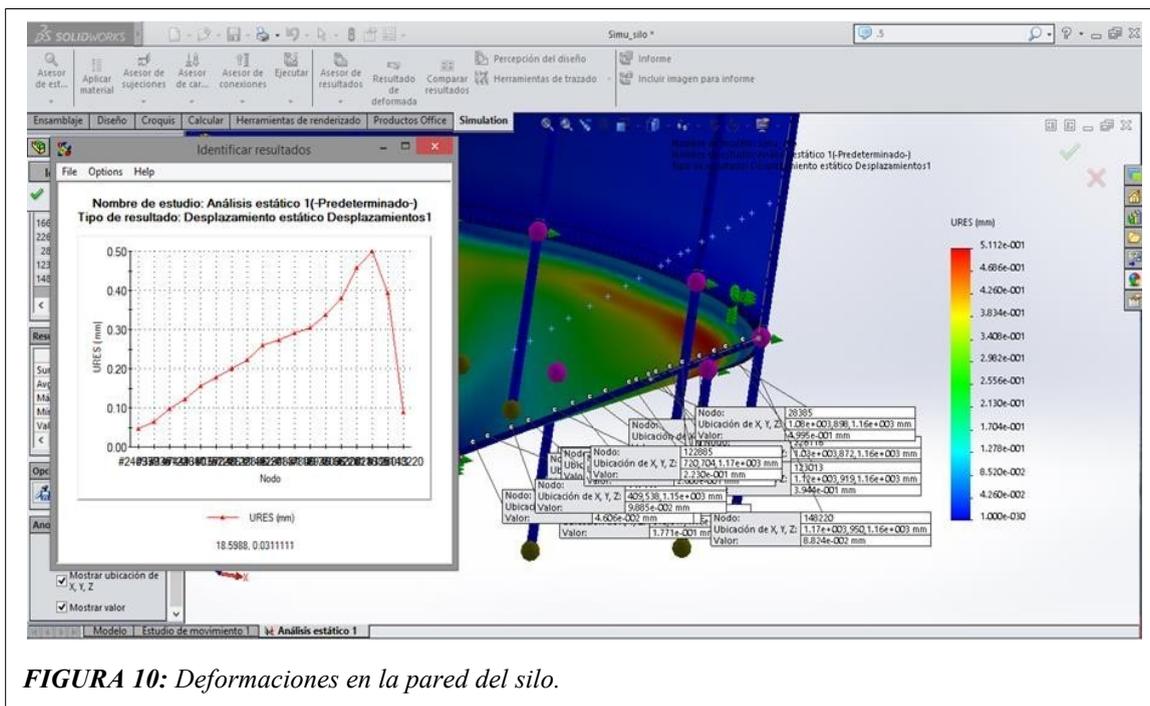


FIGURA 10: Deformaciones en la pared del silo.

El transporte del grano seleccionado se desarrolla mediante dispositivos con un sistema de tornillos horizontales y verticales todo en conjunto que trabajan en simultáneo, este apartado fue seleccionado por completo, con la ayuda de las indicaciones del catalogo de transportadores helicoidales (Direct Industry, 2013), que depende de la función del material a transportar, la capacidad y la distancia, propone componentes con diferentes características que acogen desde el tipo de rodamientos, el espesor de la helicoide y el diámetro del eje (Andrade, 2019).

Se estableció un modelo preliminar con ayuda del simulador computacional se pudo optimizar la cantidad de material de fabricación retirando el exceso con las consideraciones de adquisición de mercado. (Figura 11 y 12), consiguiendo así el transportador horizontal de un largo de 2.5m, con un paso de 6" y diámetro de 6", conectado al transportador vertical de 3m con un paso de corto de 5" y diámetro de 6", teniendo ambos un espesor de helicoidal de 1.55mm.

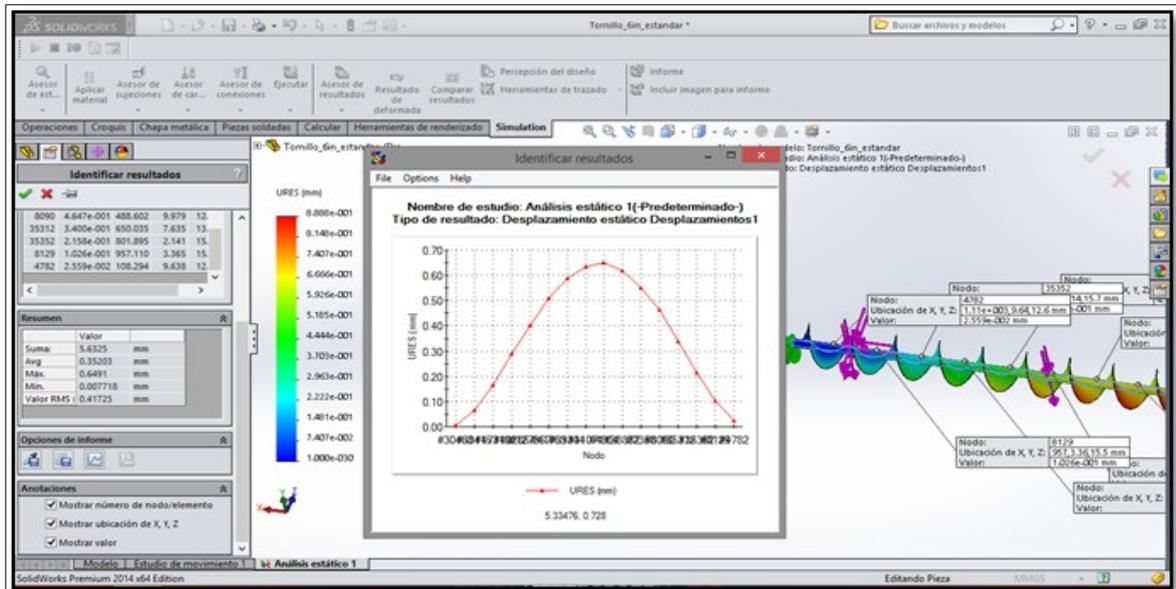


FIGURA 11: Tornillo transportador horizontal-análisis de desplazamientos

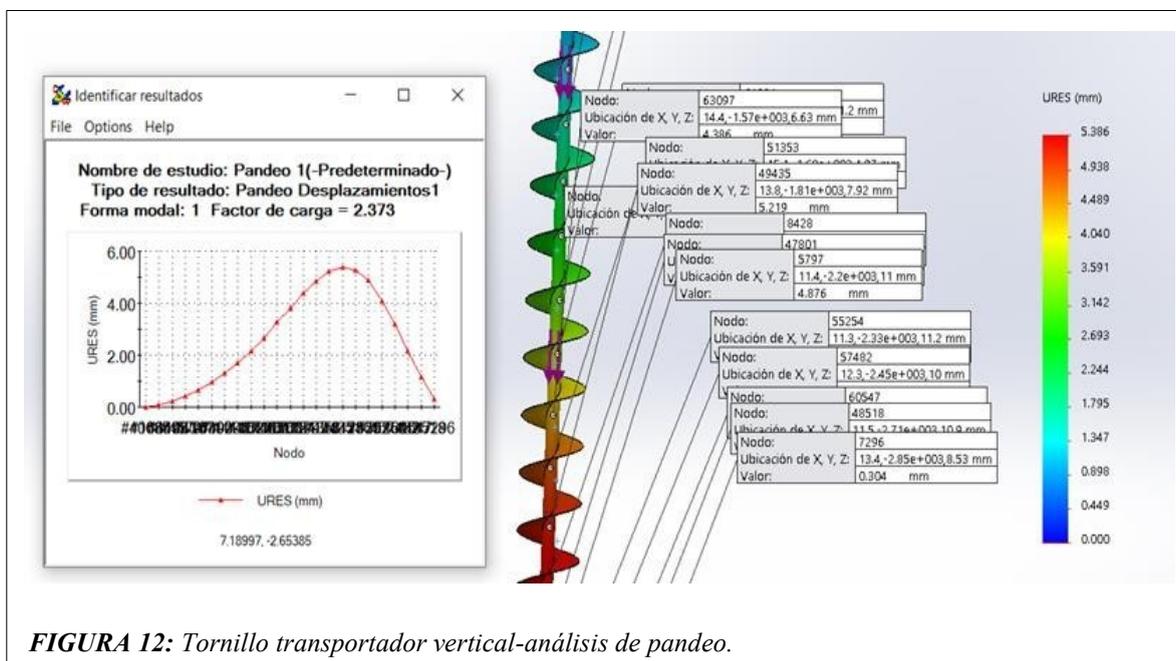
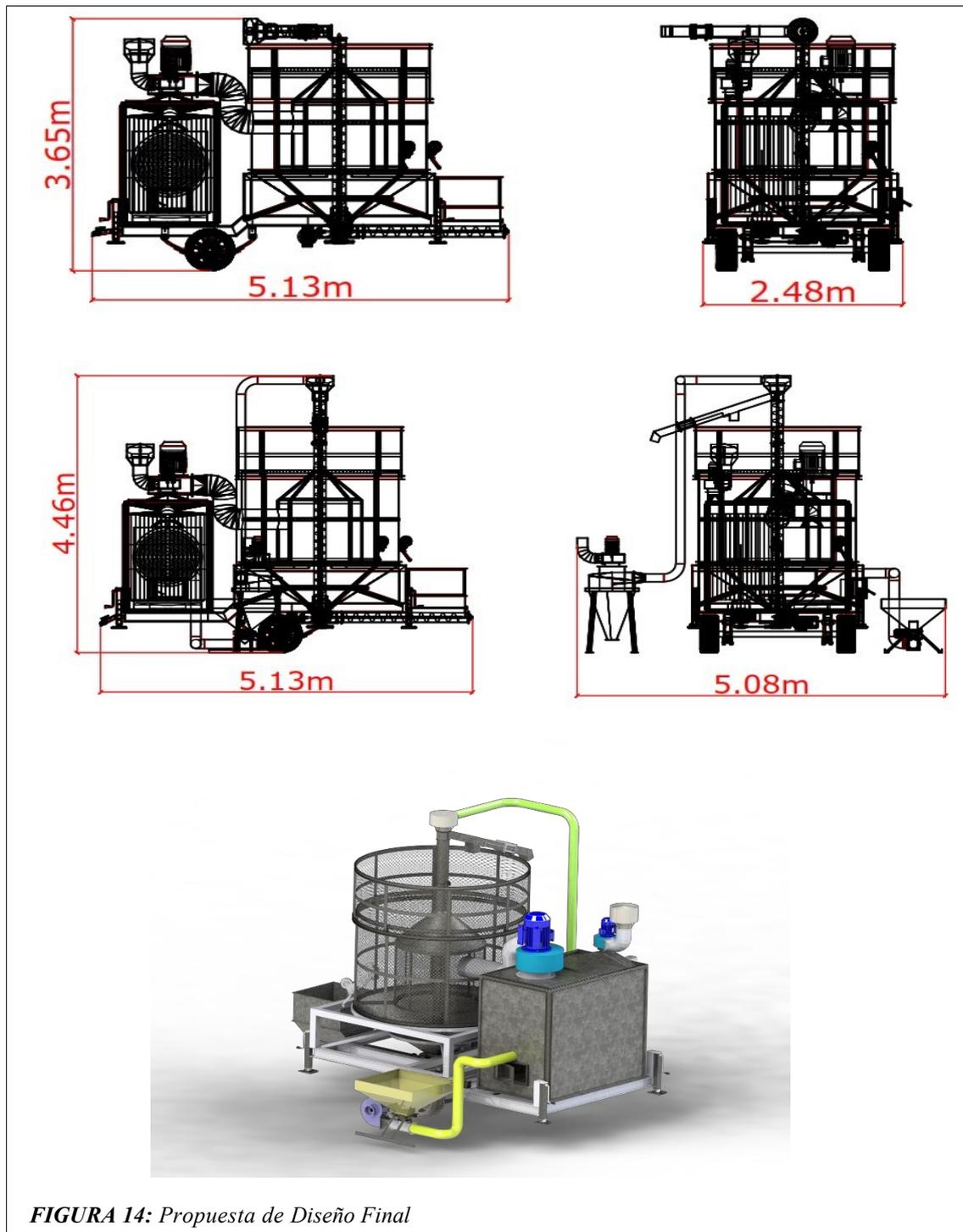


FIGURA 12: Tornillo transportador vertical-análisis de pandeo.

De la igual forma que el silo de almacenamiento, se realizó el análisis en la tolva de flujo, (Figura 13), la que recibe los granos iniciado el proceso, brindando las dimensiones correspondientes y recibiendo en simultaneo la descarga del producto de las dos máquinas cosechadoras. Además, se establecieron los correspondientes soportes y se analizaron dichas fuerzas a las que se somete, asistido con las simulaciones en Solidworks, en cada una de las instancias mostrando resultados satisfactorios.



4. CONCLUSIÓN

Según lo planteado del diseño se concluye:

Se logró cumplir el objetivo primordial de diseñar una máquina del secado de grano de arroz portátil teniendo $7m^3$ de capacidad de silo para los pequeños productores arroceros de la región Lambayeque.

Seleccionar y calcular los diferentes componentes, del sistema de secado de grano de arroz, utilizando materiales disponibles en la región y en el Perú. Además, el sistema de distribución compacta se adjuntó y muestra eficiente teniendo en cuenta

las normas del ministerio de transporte y comunicaciones que, impuestas, con la finalidad de permitir el libre tránsito de las máquinas.

Mediante el uso de las normas VDI 2221 y VDI 2225 se realizó el diseño de una secadora de granos de arroz portátil, considerando los criterios económicos y técnicos, generando una solución óptima de 0.67 y 0.69 de ponderado respectivamente.

Se diseñó la estructura principal del chasis, considerando las posibles fuerzas cortantes y momentos máximos a los que está sometida, con un factor de 1.5 de seguridad y así garantizando un óptimo desempeño de todo el sistema de soporte de la maquina secadora.

Concluyendo al final que la máquina secadora de granos de arroz portátil tiene la capacidad de secado necesario para que el pequeño productor arroceros de la región Lambayeque pueda realizar su trabajo y además posee las dimensiones óptimas para circular libremente en todas las carreteras del Perú.

5. REFERENCIAS

Alberto de Dios, C. (1996). *Secado de granos y secadoras*. Santiago, Chile: Organizacion de las

Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion, Oficina Regional para America Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/3/x5028s/X5028S00.htm>

Andrade Farias, O. R. (2019). *Selección adecuada de rodamientos, poleas y fajas en maquinarias procesadoras de arroz*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.

Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15225>

Armas Mercado, E. A., & Ulloa Guevara, L. P. (2019). *Diseño de un chasis con suspensión para un velocar*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14664>

Bazan Medina, J. L., & Ulfé Isla, J. A. (2019). *Sistema de información web y su efectividad en el control de procesos del Molino El Comanche S.R.L. de San José – Provincia de Pacasmayo*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11185>

Díaz Linares, F. J. (2018). *Diseño de Tolva, Impacto en la Productividad Minera*. Trujillo: Repositorio institucional - UNITRU. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10123>

Direct Industry. (2013). Catalogo General de Productos de Martin Sprocket & Gear. *martin*, 3-120. <https://www.directindustry.es/prod/martin-sprocket-gear-9091.html>

Echevarria Burgos, T. F., & Reyes Olivares, C. M. (2016). *Diseño, optimización y construcción de un horno de recalentamiento utilizando resistencias eléctricas y el software solidwork*. Trujillo: Repositorio institucional - UNITRU. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/2558>

Ministerio de agricultura y riego. (2017). *Informe del arroz*. Lima.
<https://www.minagri.gob.pe/portal/boletin-de-arroz/arroz-2017>

Ministro de Transportes y Comunicaciones. (2003). *REGLAMENTO NACIONAL DE VEHÍCULOS*. Lima.
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_70.pdf

Miranda, E., Sangama, E., Flores, J. (2017) *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE GERMINACIÓN DE TRES CLONES DE CACAO (Theobroma cacao L.) PARA SER USADO COMO PATRÓN BAJO LA CONDICIONES EDAFOCLIMÁTICAS DEL DISTRITO DE MANANTAY-UCAYALI-2015*. *Revista Científica Institucional TZHOECOEN*.
<http://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/520>

NTP –INDECOPI, 2.-1. (2005). *INFORME TECNICO ARROZ PILADO*. Lima: Norma Técnica de Calidad y Sanidad para el consumo libre de arroz.
<https://www.indecopi.gob.pe/documents/20182/143803/025-2008.pdf>

Postcosecha.net. (26 de Junio de 2018). *Secamientos de granos*. Obtenido de Secamientos de granos su importancia y las prácticas comunes: https://www.shareweb.ch/site/Agriculture-and-Food-Security/focusareas/Documents/phm_postcosecha_drying_grain_s.pdf

Rodriguez, J., Rioja, F., Reyes, F., Zamora, P., (2017). *CALIDAD DE SUELOS PARA LA AGRICULTURA EN LOS DISTRITOS DE LUYA VIEJO, CONILA, COHECHAN, SAN CRISTOBAL DEL OLTO DE LA PROVINCIA DE LUYA*. *Revista Científica Institucional TZHOECOEN*. <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/521>