

Esto es un documento de la siguiente conferencia:

Ccarita, A., Rojas, D. Barriga, B., Alencastre, J., Calderón Ch, J. A., Tafur, J. C. y Gómez-Amador, A. M. (12-15 noviembre 2019). *Diseño de una mini lavadora para fibra de vicuña con una capacidad de 5kg/h* [ponencia]. XIV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (CIBIM 2019), Cartagena, Colombia.

Diseño de una mini lavadora para fibra de vicuña con una capacidad de 5kg/h

Mechanical Design of a 5 kg/h cleaning machine for vicuña wool

Alan Ccarita¹, Dustin Rojas¹, Benjamín Barriga¹, Jorge Alencastre¹, J. Alan Calderón Ch², Julio C. Tafur¹, A.M. Gómez-Amador³

¹ Pontificia Universidad Católica del Perú, Group DIME, Department of Mechanical Engineering, Perú. Email: alan.ccarita@pucp.pe; d.rojas@pucp.pe; bbarrig@pucp.edu.pe; jalenca@pucp.edu.pe; alan.calderon@pucp.edu.pe

² TU Ilmenau University of Technology, Institute of Physics and IMN MacroNano, Germany. Email: jtafur@pucp.edu.pe

³ Universidad Carlos III de Madrid, España. Email: amgomez@ing.uc3m.es

Resumen

La vicuña está considerada patrimonio nacional del Perú y posee la fibra animal más fina del mundo (12µm de diámetro). Según la FAO, el Perú es el primer productor de fibra de vicuña en el mundo (70%) seguido por Bolivia, Argentina, Chile y Ecuador. El proceso de lavado consiste en la inmersión de la fibra en un medio acuoso formado por agua caliente (50°C) y detergentes que, a través de movimientos suaves por medio de sistemas mecánicos, elimina las impurezas que posee la fibra (grasa, suintina, polvo, suciedad, etc). En el Perú miles de comunidades campesinas encargadas de la explotación de este producto no realizan ningún tipo lavado; comercializan la fibra sin tratar. En este trabajo se ha diseñado un equipo de lavado pequeño, acorde a la capacidad de producción de los productores vicuñeros del Perú, que permite la limpieza de la fibra mediante la alimentación, arrastre, sumergido y exprimido de la misma; y cumpliendo con los estándares de lavado según la norma IWTO-19-981. La utilización de este equipo supondrá la obtención de una fibra más limpia sin ningún tipo de enfieltado, un ahorro del 20% de agua y un rendimiento del 90% con respecto al lavado tradicional manual.

Palabras clave: Lavado, fibra de vicuña, diseño mecánico, IWTO

Abstract

Vicuña is considered a national animal symbol of Peru and has the finest wool in the world (12µm diameter). According to the FAO, Peru is the largest producer of vicuña wool in the world (70%) followed by Bolivia, Argentina, Chile and Ecuador. The cleaning process consists in the immersion of the wool in an aqueous medium formed by hot water (50 °C) and detergents that, through smooth movements by means of mechanical systems, eliminate the contaminants that the fiber has (lanolin, suint , dust, dirt, etc.). In Peru the Andean Communities are responsables for the vicuña management and they do not perform any type of cleaning process selling the fleece at low prices without value added. This paper describes the design of small cleaning equipment according with the production capacity of the vicuña producers. The equipment cleans the wool through a mechanical system that feeds, moves, immerses and drains the fiber, fulfilling the cleaning requirements according to IWTO-19-981 standard. The use of this equipment will provide a clean vicuña wool without any damage, saving 20% water needs and with an efficiency ratio of 90% compared to traditional manually washing.

Keywords: Vicuña wool, cleaning, mechanical design, IWTO

1. Introducción

El presente trabajo da respuesta a la necesidad tecnológica que tienen los productores de fibra de vicuña de todo Perú. Actualmente la participación de las comunidades locales en la cadena de valor es muy reducida y ello provoca que los precios de venta que consiguen no sean los adecuados.

El tratamiento de la fibra de vicuña en origen comprende, principalmente, dos etapas: descordado y lavado. En este trabajo se propone un modelo de lavadora para tratar la fibra sin afectar a las propiedades de la misma. Se ha de tener en cuenta que la fibra de vicuña es la más fina (10-15 μ m), la más cara del mundo (300-400 \$/kg. Fibra Sucia), y el producto final debe cumplir como referencia la norma de lavado IWTO-19-98 [1] para la exportación.

Para la obtención de la solución óptima se ha aplicado la Metodología Alemana de Diseño VDI 2221[2].

2. La fibra de vicuña

La vicuña, figura 1, es una especie emblemática y un recurso para el desarrollo socioeconómico del poblador altoandino. Es uno de los dos camélidos silvestres de Sudamérica que habita por encima de los 3.200m de altitud, a lo largo de más de 3.000km de los Andes, en Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador y Perú. Alcanza un peso entre 38 y 50 kg.



Figura 1. Vicugna vicugna vicugna (Perú)

Desde mediados de los años noventa, las comunidades campesinas de Perú participan directamente en la conservación, manejo y comercialización de la vicuña. El aprovechamiento de la fibra de vicuña se realiza con su captura y esquila, en un ritual ancestral incaico llamado *chaccu*.

Su vellón pesa alrededor de 200 gr y está compuesto en un 90% de fibras finas y de 32 a 38 mm de longitud y un 10% de fibras “indeseadas” de mayor diámetro y diferente densidad (cerdas).

Perú produce aproximadamente unas 8 tn anuales de fibra de vicuña con 200.000 ejemplares [3] que se

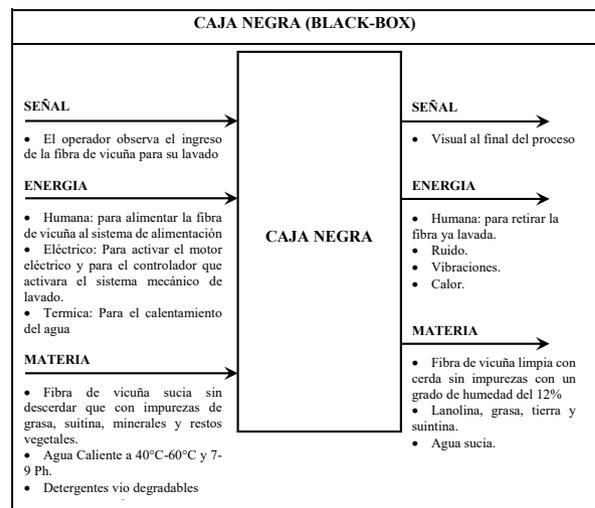
exportan sin tratar. El beneficio que reporta a las comunidades es la mitad del que se obtendría si se comercializase ya lavada y descordada. Este trabajo presenta un diseño de una lavadora que permite obtener un producto tratado que contribuirá al desarrollo tecnológico de las comunidades locales dándole un valor agregado a la fibra.

3. El Diseño

Los requerimientos de diseño exigen que la máquina de lavado sea un equipo de fácil operación, construcción, mantenimiento y transportabilidad sin olvidar que sea ergonómica para que lo puedan operar las organizaciones productoras de fibra de vicuña de todo el Perú. Además ha de ser segura para los usuarios, respetar el medio ambiente y no provocar daños o deterioros en la fibra.

La concepción del diseño se realiza según las recomendaciones de la norma alemana VDI2221 [2]. Como se muestra en la tabla 1 el proceso comienza con la identificación de las magnitudes básicas de entrada y salida:

Tabla 1. Caja negra



Posteriormente se identifica la estructura de funciones [4] que tendrá la máquina. Esta estructura se representa en la tabla 2:

Tabla 2. Estructura de Funciones

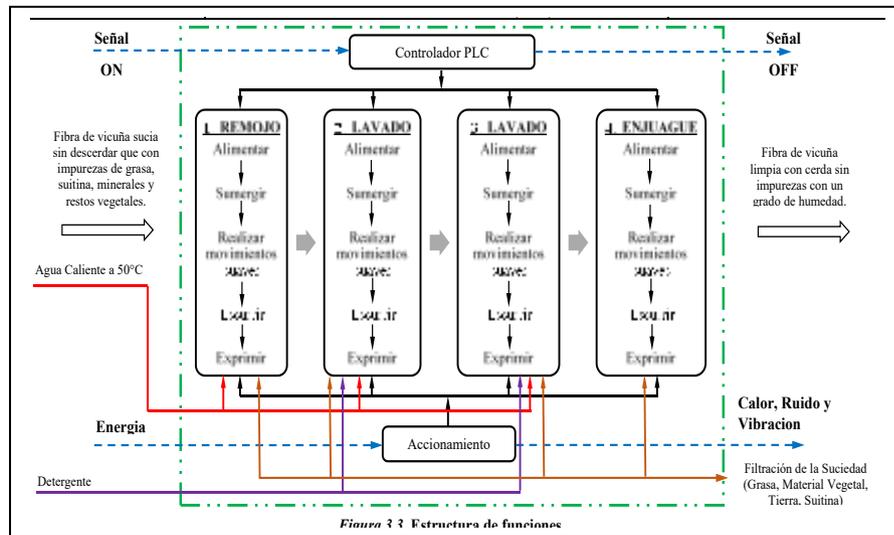
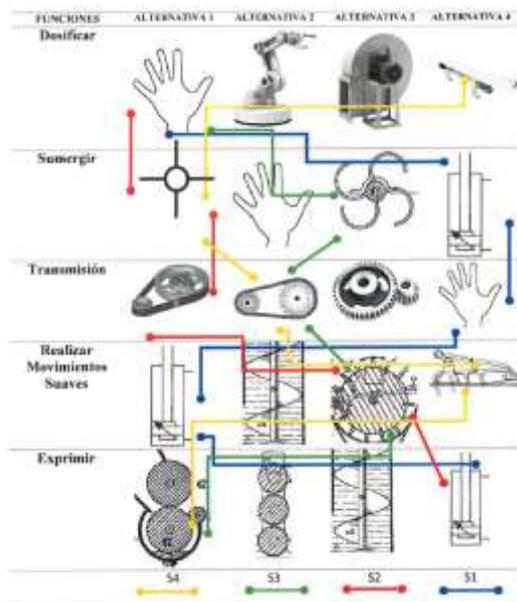


Figura 3. Estructura de funciones

Para encontrar las soluciones hay diferentes opciones (las tradicionales, las intuitivas y las discursivas). En este trabajo se obtienen las soluciones utilizando una de las formas discursivas y un esquema ordenado denominado “Matriz morfológica”. En la tabla 3 se representa la matriz morfológica para este trabajo.

Tabla 3. Matriz morfológica según VDI 2221



Analizando esta matriz se proponen tres soluciones:

- Basada en el uso de *cilindros hidráulicos*: Esta propuesta contempla un sistema de alimentación manual y un sistema de lavado y exprimido. El lavado y el exprimido se realizan a través de dos cilindros hidráulicos que posicionan la tina de lavado y la exprimen dentro y fuera del líquido acuoso de agua y detergente. Esta propuesta necesita la implementación de una unidad de presión para todo el sistema hidráulico; el coste de fabricación es caro.
- Basada en el *arrastre por cadenas*: Esta propuesta plantea un sistema de alimentación manual con un sistema de lavado de sumergido y arrastre en conjunto a través de una cadena; el sistema de exprimido se realiza con dos rodillos que ejercen presión a través del resorte. Su coste es relativamente económico.
- Basada en el uso de *rastrillera*: Esta propuesta presenta un sistema de lavado con la alimentación de una banda transportadora, seguida de un sistema de pesaje por masa para luego ser sumergida por un rodillo con paletas. El sistema de arrastre de la fibra se realiza utilizando una rastrillera que la transporta, sumerge y lava de forma suave sin dañarla. Para el sistema de exprimido se utilizan dos rodillos accionados por dos resortes que generan la presión necesaria durante el exprimido. Su coste es relativamente económico.

Tras realizar una evaluación técnico-económica el concepto de solución óptima seleccionado corresponde a la solución basada en el uso de rastrillera, Figura 2.

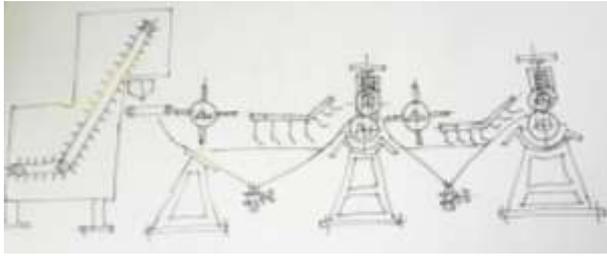


Figura 2. Vicugna vicugna vicugna (Perú)

4. Parámetros de lavado

El lavado se realiza en un medio acuoso formado por agua caliente a 40-60°C y detergente. La calidad de lavado viene determinado por los siguientes parámetros:

- Tiempo de inmersión
- Dureza del agua (ph)
- Presión de exprimido

- Concentración de detergente
- Temperatura
- Flujo volumétrico
- Acción mecánica
- Eficiencia de los rodillos de exprimido
- Tiempo de Purga

Para determinar estos parámetros se han realizado diferentes ensayos en un laboratorio certificado y con los equipos necesarios.

5. Diseño y cálculo de los elementos de la máquina

En la Figura 3 se muestra el sistema de lavado completo. Consta de cuatro etapas que se corresponden con las identificadas durante la definición de la estructura de funciones, es decir: remojo, primer lavado, segundo lavado y enjuague final.

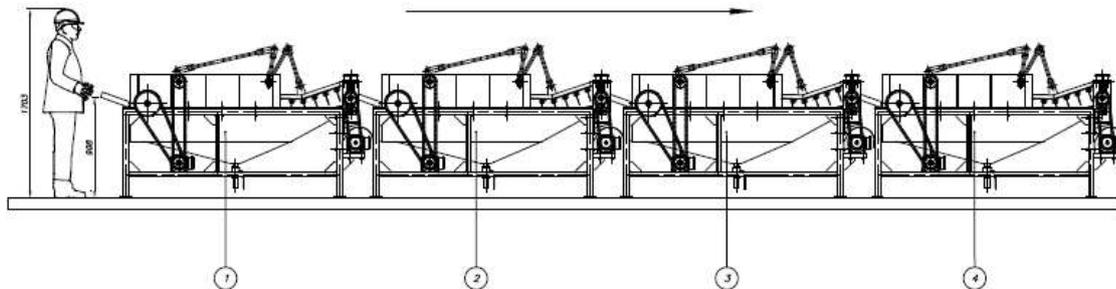


Figura 3. Sistema de lavado completo.

Para cada una de las etapas se utiliza el mismo módulo mecánico que aparece representado en la Figura 4. Dicho módulo consta de tres partes: sumergidor tipo tambor, sistema de arrastre y un sistema de exprimido mediante dos rodillos comprimidos por resortes.

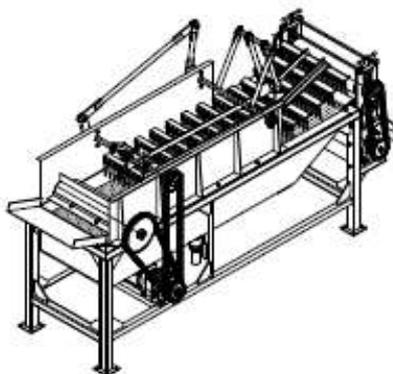


Figura 4. Módulo de cada una de las etapas del sistema de lavado.

La fase de arrastre es la etapa más importante durante el lavado, es aquí donde se inicia la eliminación de las impurezas de la fibra a través del movimiento oscilatorio producido entre la mezcla de fibra sucia con agua caliente y detergentes químicos. El mecanismo de accionamiento óptimo debe cumplir el objetivo de retirar las impurezas sin dañar ni enfieltar la fibra. La rastrillera seleccionada es accionada por un mecanismo de cuatro barras articulado a un mecanismo libre. En la Figura 5 se incluye el ensamble completo del mecanismo de arrastre.

El diseño cinemático del mecanismo de arrastre se muestra en la Figura 5. Una parte del mecanismo de cuatro barras está formado por los puntos O_2ABO_4 y la otra por el mecanismo libre determinado por los puntos O_2O_4CDE ; el primero trabaja como receptor de potencia del motorreductor que transforma en rotación para transmitirlo al segundo bloque que genera el movimiento oscilatorio y soporta a la rastrillera.

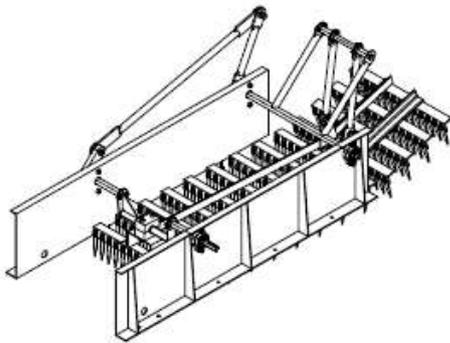


Figura 5. Mecanismo de arrastre

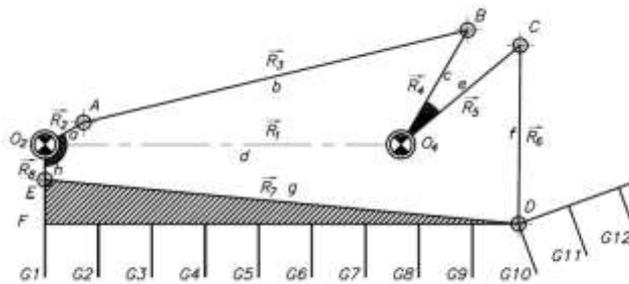


Figura 6. Esquema del mecanismo de arrastre

Mediante la fórmula de Grüber se determinan el número de grados de libertad del mecanismo, es decir el grado de movilidad del mismo:

$$GDL = 3(N - 1) + 2J_1 - J_2 \quad (1)$$

Dónde:

N : Número de eslabones

J₁: Número de pares cinemáticos inferiores (cada uno restringe dos grados de libertad en el plano)

J₂: Número de pares cinemáticos superiores (cada uno restringe un grado de libertad en el plano).

De acuerdo con la Figura 6 se define los siguientes parámetros; N=6, J₁=7 y J₂=0, aplicando la fórmula de Grüber tendremos el siguiente resultado:

$$GDL = 3(6 - 1) + 2(7) - 0$$

$$GDL = 1$$

El mecanismo tiene un grado de libertad lo que hace posible su desarrollo. En la Figura 7 se recoge la simulación realizada de la trayectoria del mecanismo y de las puntas de arrastre de la rastrillera.

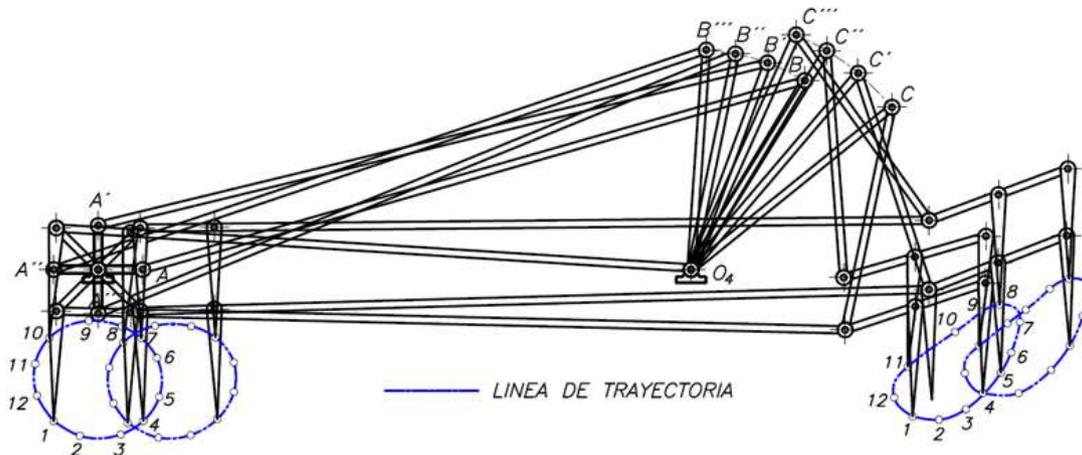


Figura 7. Simulación de trayectoria del mecanismo

Analizando los desplazamientos y las velocidades de las puntas de arrastre se determina la fuerza de arrastre total de rastrillo. Se ha obtenido un valor de 87 N que es suficiente para garantizar el flujo másico de diseño de la lavadora de 5 kg/h.

La fuerza de arrastre tiene la siguiente ecuación (2), y representa la oposición de un cuerpo al movimiento a través de un fluido. La magnitud de esta fuerza depende de la velocidad de las puntas de arrastre (V₀), área

sumergida de contacto (ancho de perfil, a, por longitud sumergida, l_s), densidad del fluido (ρ_w) y un coeficiente de arrastre (C_D) al entrar en contacto con el medio acuoso.

$$F_A = \frac{C_D \cdot \rho_w \cdot V_0^2 \cdot a \cdot l_s}{2} \quad (2)$$

El movimiento oscilatorio de las puntas de arrastre sigue la geometría que aparece en la Figura 6. En este movimiento se genera un desplazamiento horizontal máximo de 177 mm por cada ciclo y las puntas se sumergen a una profundidad máxima de 80 mm, como se aprecia en la Figura 8.

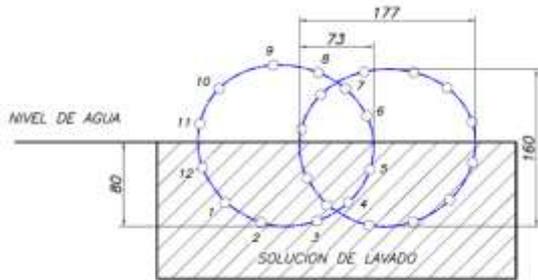


Figura 8. Detalle de la trayectoria y profundidad de arrastre

La Figura 9 muestra la fuerza de arrastre en función del ángulo de giro del mecanismo, observándose que hay ausencia de arrastre en el periodo en el que las puntas del rastrillo no se encuentran sumergidas.

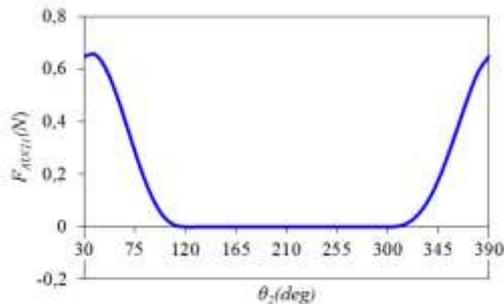


Figura 9. Fuerza de arrastre por punta

6. Conclusiones

La aplicación de la metodología de diseño VDI 2221 ha permitido obtener la solución óptima partiendo de los requerimientos establecidos y de la lista de exigencias impuesta. Se han evaluado técnica y económicamente tres opciones de equipos de lavado concluyendo que el uso de rastrillera es el método más eficaz para el lavado de la fibra de vicuña.

El rendimiento al lavado para la muestra de fibra de vicuña superó las expectativas con un rendimiento por encima del 92%.

Se ha modelado y analizado en detalle el mecanismo de arrastre asegurando que mantiene la eficacia del lavado y que no daña la calidad de la fibra.

Se han elaborado los planos de fabricación y componentes de la máquina cumpliendo los requerimientos técnicos necesarios para que puedan ser fabricados en talleres locales de las zonas productoras de fibra de vicuña de las zonas alto andinas.

Se está estudiando la mejora del equipo de lavado con la inclusión de un sistema de ultrasonido.

7. Referencias

- [1] Test Method Nr. IWTO-19-98 (International Wool Textiles Organization): Determination of wool base and vegetable matter base of core samples of raw wool, Woolmark Co., Ilkley, U.K
- [2] VDI 2221 (Verein Deutscher Ingenieure) denominada "Enfoque sistemático para el diseño de sistemas técnicos y productos", norma desarrollada por los ingenieros profesionales, es una variación de la VDI 2222.
- [3] SERFOR: Servicio Nacional Forestal y de fauna Silvestre (Perú, 2016)
- [4] Barriga Gamarra, Benjamín (1995). Métodos de diseño e ingeniería mecánica. Perú PUCP.