

Rediseño de interfase humano-máquina en desfibradora de abacá tipo 'deco'.

Emilio Mora Quintanilla

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Diseño Industrial

Informe final de proyecto para optar por el título de Ingeniería en Diseño Industrial con el Grado Académico de Bachiller.

Asesor Académico:

Ing. Mario González Ramírez

Asesor Institucional:

Dr. Dagoberto Arias Aguilar

Cartago, Noviembre 2023.

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Diseño Industrial
Trabajo Final de Graduación Bachillerato | 2 Semestre_2023

Trabajo Final de Graduación Proyecto
Bachillerato Ingeniería en Diseño Industrial

Constancia de la Defensa

El Trabajo Final de Graduación presentado por el estudiante Emilio Mora Quintanilla, carné 2019189815 para optar por el Título de Ingeniería en Diseño Industrial con grado académico Bachiller Universitario del Instituto Tecnológico de Costa Rica, titulado:

“Rediseño de interfase humano-máquina, en desfibradora de abacá tipo Deco ”

ha sido defendido el día 27 de noviembre del año 2023 ante el Tribunal Evaluador y su Profesor Asesor.

MARIO ROBERTO GONZALEZ RAMIREZ (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-01-0539-0104.
Fecha declarada: 27/11/2023 05:55:59 PM
Esta representación visual no es fuente
de confianza. Valide siempre la firma.

DI. Mario González Ramírez,
M. Eng.

Profesor Tutor

ZAYRA ALYANA
CASTRO LOPEZ
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por ZAYRA ALYANA
CASTRO LOPEZ (FIRMA)
Fecha: 2023.11.27
22:54:00 -06'00'

DI. Zayra Castro López, MBA

Tribunal Evaluador 1

SERGIO ALBERTO RIVAS PORRAS (FIRMA)
PERSONA FISICA, CPF-01-0583-0819.
Fecha declarada: 28/11/2023 10:04:45 AM
Esta es una representación gráfica únicamente,
verifique la validez de la firma.

DI. Sergio Rivas Porras, MSc.

Tribunal Evaluador 2

Cartago, noviembre, 2023

Resumen

Desde el año 2020, el ITCR ha liderado diversos proyectos de generación de conocimiento en lo que respecta a la producción de fibra de abacá en Costa Rica. Esta fibra se usa para hacer una infinidad de productos biodegradables, por lo que producirla presenta una excelente oportunidad para la economía nacional, considerando el compromiso a nivel país con la sostenibilidad.

Se han realizado muchas innovaciones en el área del cultivo y mantenimiento de las plantas de abacá, sin embargo la extracción de la fibra representa un problema para los involucrados. Es una actividad sumamente laboriosa e incluso peligrosa para los trabajadores, lo cual a su vez aumenta el costo de su extracción, reduciendo el margen de ganancia de los pequeños productores.

La investigación actual presenta un análisis de las condiciones bajo las cuales se realiza la extracción de la fibra para después plantear a detalle una posible solución desde la perspectiva del diseño industrial a algunos de los factores que impactan negativamente el desarrollo de esta actividad en el país.

Palabras clave:

Abacá; Maquinaria agrícola; Seguridad laboral; Diseño industrial; Extracción de fibra.

Abstract

Since 2020, the Costa Rican Institute of Technology has led various research projects regarding abaca fiber production in Costa Rica. This fiber is used to make a multitude of biodegradable products, making its production an excellent opportunity for the national economy, considering the country's commitment to sustainability.

Numerous innovations have been made in the cultivation and maintenance of abaca plants. However, fiber extraction poses a problem for those involved. It is a labor-intensive and even hazardous activity for workers, thereby increasing the extraction cost and reducing the profit margin for small producers.

This paper provides an analysis of the conditions under which fiber extraction takes place. It then details a possible solution from an Industrial Design perspective to address some of the factors negatively impacting the development of this activity in the country.

Keywords:

Abaca; Agricultural machinery; Occupational safety; Industrial design; Fiber extraction.

Índice

Introducción	6
1.1 Antecedentes	6
1.2 Definición del problema	7
1.3 Justificación	8
Aspectos socioeconómicos	8
Aspectos comerciales	9
1.4 Actores involucrados	10
1.5 Objetivos	11
1.6 Metodología	11
Etapas i: Escuchar	12
2.1 Contexto	13
¿Qué es el abacá?	13
¿Cómo se desarrolla la actividad en Costa Rica?	13
Máquina tipo “deco”	14
2.2 Usuarios	17
Los trabajadores	17
Los productores	18
2.3 Interacción actual	19
Mapeo de actividades	19
2.4 Problemas ergonómicos	21
2.6 Lista de requerimientos	23
2.7 Concepto de diseño	24
Etapas ii: Crear	25
3.1 Selección de la propuesta	26
Evaluación de las propuestas	27
3.2 Desarrollo de la propuesta	29
Primera iteración	29
Segunda iteración	30
Tercera iteración	31
Cuarta iteración	32
Quinta y actual iteración	33
3.4 Estructura de la propuesta	34
Estética y percepción	34
Esquema de sistemas y subsistemas	35
Sistema estructural	41
Sistema de interacción	42
Sistemas de acople	42
Sistema de sujeción	43
Sistema electrónico	44
Sistema mecánico	45

3.5 Nueva interacción	46
Etapas iii: Entregar	49
4.1 Estrategia de manufactura	49
Concepto de manufactura	49
Proceso de manufactura propuesto	49
Materiales	52
Procesos y acabados	52
Tipos de uniones	52
4.2 Cálculo de costos	53
4.3 Prototipado	55
Cambios para prototipado	55
Proceso de manufactura del prototipo	56
4.4 Verificaciones con usuarios	58
4.5 Factores Críticos de Diseño	60
4.6 Conclusiones y recomendaciones	61
Investigación de usuarios y contexto	61
Estructura de la propuesta	61
Estrategia de manufactura	62
Validaciones con usuarios	62
CDFs	62
Anexos	64
Anexo 1: Cuestionario hecho a empresa Nippon Paper y preguntas de entrevista a trabajadores y respuestas.	64
Anexo 2: Cálculos de fuerzas de la máquina.	68
Anexo 3: Partes de una planta de abacá.	69
Anexo 4: Análisis ergonómico	70
Anexo 5: Análisis de lo existente	74
Anexo 6: Lista de requerimientos al día 11 de septiembre de 2023.	82
Anexo 7: Primera maqueta física.	83
Anexo 8: Ideación de nuevas interfaces a partir de propuestas del bloque 1	83
Anexo 9: Rubros de evaluación de propuestas.	84
Anexo 10: Análisis tecnológico.	85
Anexo 11: Lista de materiales aportados por el CIF	96
Anexo 12: Cálculo de velocidades de inserción.	97
Anexo 13: Validaciones con usuarios de maqueta funcional	98
Referencias	102



Introducción

1.1 Antecedentes

El Centro de Investigación en Innovación Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica es una unidad especializada de la Escuela de Ingeniería Forestal dedicada a la investigación y extensión de proyectos asociados a las ciencias forestales.

Durante la última década se han hecho esfuerzos por parte de empresas exportadoras de la fibra para traer el cultivo del abacá al país. El proyecto del TEC con el abacá inicia en el 2020 con el objetivo de generar conocimiento sobre la producción de abacá en el territorio nacional, ya que en el momento no existía información académica o técnica al respecto. La información se recolectó mediante la realización de experimentos y sitios piloto.

La necesidad de una mejora en el sistema de extracción del abacá fue detectada en el 2021-2022, una vez que los cultivos de los productores que participaron en el proyecto estuvieran maduros para su primera cosecha. Fue aquí donde se notó el peligro que representaba la máquina para los trabajadores que la operaban y el gran porcentaje de dinero que su operación restaba de los ingresos de los productores.

A nivel institucional, el proyecto del abacá concluyó a principios del 2023, sin embargo el Cif continúa esfuerzos por mejorar las condiciones de los trabajadores y productores a nivel nacional, como vendría siendo este proyecto.

1.2 Definición del problema

Para llegar a entender los problemas que conlleva el método actual de extracción de la fibra de abacá se realizó una investigación documental de trabajos de investigación y videos relacionados al tema. Además, se aplicó un cuestionario a una de las principales empresas productoras para obtener datos sobre el proceso a nivel nacional (ver Anexo 1). Durante esta investigación también fue clave la información proporcionada por el Dr. Dagoberto Arias Aguilar, asesor institucional del proyecto, información generada a partir de su amplia experiencia en el desarrollo de esta actividad productiva; así como la información recolectada durante las giras realizadas. La investigación reveló las 3 principales preocupaciones en relación a la extracción de la fibra, ordenadas de mayor a menor prioridad:

1. Seguridad de los trabajadores durante la extracción de la fibra
2. Calidad de la fibra obtenida
3. Eficiencia del proceso

El enfoque del proyecto será principalmente en el primer ámbito puesto a que es el problema más urgente de solucionar. Una mejora en este rubro significa un gran beneficio social para los trabajadores. Desarrollar una solución que también busque resolver el asunto de la calidad y la eficiencia es necesario, sin embargo no se ajusta al plazo del proyecto actual ni a los recursos disponibles para su ejecución. La Figura 1 sintetiza las causas y consecuencias del problema.

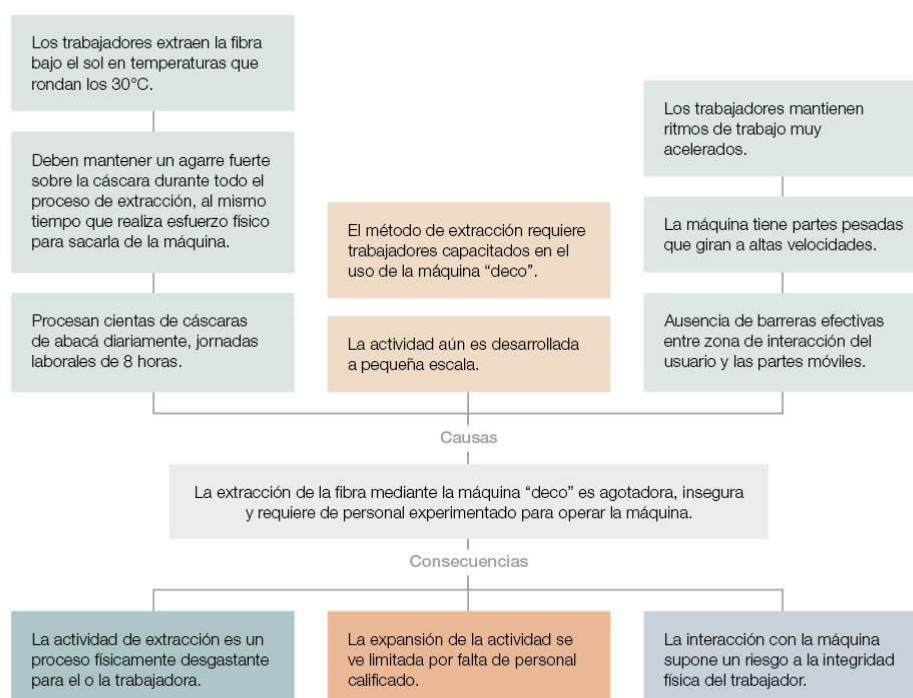


Fig. 1. Árbol de problemas.

1.3 Justificación

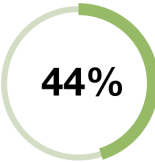
Aspectos socioeconómicos

Este proyecto incide en el ámbito social del desarrollo de las actividades productivas relacionadas al abacá. Al tratarse de una actividad que se da casi exclusivamente en las zonas rurales del país, las personas que se ven involucradas enfrentan condiciones socioeconómicas distintas al resto del país.



31%

El 31,4% de los hogares en la región Huetar Caribe vive en la pobreza, en contraste con un 17% de los hogares en la región Central. El desempleo es un 18% mayor. Sus opciones laborales a menudo se ven limitadas a la industria de servicios (turismo, hotelería) o a la agricultura.



44%

44% de los hogares en situación de pobreza enfrentan incumplimiento de sus derechos laborales, 24,5% reciben menos del salario mínimo. Históricamente, estos incumplimientos se han dado en la industria agrícola.



46%

El 46% de los hogares en situación de pobreza son encabezados por una mujer, 25,8% son encabezados por una mujer que puede trabajar pero no lo hace porque sus obligaciones familiares se lo impiden.



60%

El 60,3% de los hogares en situación de pobreza no tienen seguro de salud. No tienen acceso a medicina preventiva ni a goce de salario si se incapacitan del trabajo.

Datos del INEC [2]



Aspectos comerciales

Durante la década de los 1970, la sociedad y la industria adoptaron masivamente el plástico debido a su versatilidad y durabilidad, relegando a un segundo plano los materiales reutilizables y biodegradables. A medida que los impactos ambientales del plástico se hicieron evidentes, desde la contaminación marina hasta la acumulación de desechos, surgieron preocupaciones sobre la sostenibilidad. A nivel mundial, diversas leyes y regulaciones han sido implementadas para abordar la creciente preocupación sobre el consumo y la producción de plástico, con el objetivo de reducir su impacto ambiental [3].

Si bien la fibra de abacá no ha experimentado una explosión masiva en la demanda a nivel global, su perfil sostenible y sus propiedades únicas la colocan como una opción interesante para diversas industrias. La demanda puede aumentar a medida que la conciencia ambiental continúa influyendo en las decisiones de consumo y en las prácticas industriales.

El desarrollo de innovaciones en la producción de fibra de abacá podría ser beneficioso para la economía costarricense. La creación de nuevas tecnologías o procesos de extracción mejorados podría generar empleo, atraer inversiones y aumentar la exportación de fibra de abacá; fortaleciendo la imagen de Costa Rica como líder mundial en sostenibilidad.



1.4 Actores involucrados

Centro de Investigación en Innovación Forestal (CIF)

Asesor en la institución: Dr. Dagoberto Arias Aguilar

Actividades: Desarrollan proyectos de investigación y extensión en el área de la Ingeniería Forestal. Con el proyecto buscan innovar en el campo del desfibrado del abacá para maximizar las ganancias de los pequeños productores y la calidad de vida de los trabajadores; empezando por el método de extracción más común en el país, la desfibradora tipo “deco”.

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)

Contacto en la institución: Ing. Gil De Diego

Actividades: Desarrollan una variedad de proyectos relacionados al sector agropecuario. En lo que respecta al abacá, llevan a cabo investigación científica y técnica de las características de esta planta para la generación de conocimiento en asociación con las empresas exportadoras.

Nippon Paper Papilla Co.

Actividades: Proveedor mundial de productos de papel como bolsas de té, filtros, servilletas, etc. Su participación en el mercado nacional es como compradores y exportadores de esta fibra, además de proveer apoyo técnico (ver pág. 11) a los pequeños productores.

Glatfelter

Actividades: Proveedor mundial de engineered materials. Obtienen el 99% de la fibra de abacá que utilizan para sus productos en Filipinas y el 1% restante en Costa Rica, con planes de aumentarlo a 20% en la próxima década [4].

1.5 Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema que permita que el desfibrado de abacá, mediante una máquina tipo “Deco”, sea más eficiente y seguro para los trabajadores que la utilizan mediante la estrategia de Diseño Centrado en las Personas durante el segundo semestre del 2023.

Objetivos específicos

- Adquirir un entendimiento del problema de diseño a través de la identificación de las necesidades de los trabajadores, los productores y su contexto, en relación al proceso de desfibrado del abacá.
- Idear una solución de diseño que sea tanto deseable para sus usuarios como factible y viable a nivel funcional y económico, mediante un proceso de diseño iterativo y participativo.
- Comprobar la efectividad de la solución propuesta, según los aspectos de usabilidad, rendimiento y viabilidad económica, mediante pruebas con usuarios, modelos económicos y maquetas de simulación.

1.6 Metodología

La metodología a emplear para el desarrollo del proyecto fue construida con base en la metodología de Diseño Centrado en las Personas (DCP), publicada por la empresa IDEO en el 2009. El DCP tiene como objetivo general desarrollar soluciones “deseables, factibles y viables” y consiste en tres etapas que comprenden el proceso de diseño. La primera etapa, Escuchar, comprende el proceso investigativo que permite entender el problema y las aristas que lo componen, culminando en un concepto de diseño. La segunda etapa, Crear, abarca el análisis de los datos y el desarrollo de una propuesta basada en los hallazgos realizados en la primera etapa. La tercera etapa, Entregar, se refiere a concretar los aspectos concretos de la puesta en práctica de la propuesta.

Se seleccionó esta metodología de diseño por dos principales factores que la diferencian de otras metodologías orientadas al diseño de productos: primero, por su enfoque al desarrollo de soluciones viables económicamente en contextos de presupuesto limitado, como el que viven los pequeños productores de abacá; y segundo, el énfasis que se le da a la construcción de empatía mediante la investigación cualitativa a profundidad y el diseño participativo. Se consideró que estos dos factores serían positivos para el desarrollo del proyecto, considerando su contexto, la experiencia previa del diseñador y el alcance que se quiere tener con la propuesta.



Etapa i: Escuchar

En esta etapa se buscó recolectar toda la información relevante al desfibrado del abacá en Costa Rica. Se empezó con una investigación documental de investigaciones científicas, proyectos y videos relacionados al desarrollo de la actividad en el territorio nacional, así como comunicación con profesionales que han trabajado con este tema durante años. Esta investigación permitió pintar un panorama de cómo se desarrolla la actividad en el país y quiénes están involucrados. Además, permitió detectar los principios fundamentales del desfibrado de una hoja fibrosa. Adicionalmente a la investigación documental, se realizó un cuestionario a administrativos de la empresa Nippon Paper para obtener información sobre el rendimiento diario de los trabajadores, su ritmo de trabajo y las molestias que enfrentan [ver Anexo 1].

Posterior a la investigación documental, se realizó una gira el 18 de septiembre a dos fincas pequeñas de abacá en el cantón de Siquirres en Limón en compañía del asesor institucional del proyecto Dagoberto Arias. La gira permitió corregir suposiciones hechas durante el periodo de investigación documental mediante la observación del entorno de trabajo, entrevistas con trabajadores y entrevistas con empleados de las empresas compradoras de la fibra. Estas entrevistas también permitieron profundizar el entendimiento de las necesidades de los involucrados y de las dimensiones del problema.

Finalmente, se realizó otra gira a la Estación Experimental Los Diamantes del INTA en compañía del investigador Gil de Diego. En esta visita se realizaron experimentos y mediciones que informaron los aspectos técnicos de la propuesta. Además, se tuvo la oportunidad de observar el proceso de aprendizaje de un trabajador usando la máquina decortadora por primera vez bajo la instrucción de un trabajador experimentado de la empresa Nippon Paper. Fue una oportunidad muy valiosa para entender y observar de primera mano las emociones que experimentan los trabajadores cuando empiezan a trabajar en esta actividad.

2.1 Contexto

¿Qué es el abacá?

El abacá es una musácea, pariente cercana de las plantas de banano. Esta planta se cultiva para el aprovechamiento de la fibra que se extrae de su pseudotallo. Es originaria de las Filipinas y apta para crecer en climas cálidos y húmedos, similares a los que componen gran parte del territorio costarricense. Fue introducida al país en los años 40, pero perdió popularidad debido a la introducción de materiales sintéticos de bajo costo [1]; en la actualidad está teniendo una resurgencia por su gran potencial para ser usado en todo tipo de aplicaciones biodegradables.

Filipinas, Ecuador y Costa Rica son los principales productores de esta fibra a nivel mundial. Es comprada por empresas que la transforman en productos como bolsas de té, papel y filtros. Conforme aumenta la demanda por productos amigables con el ambiente se descubrirán o implementarán cada vez más usos para las fibras biodegradables como el abacá.

Algunas características de la fibra que la hacen una opción tan atractiva para la industria son su resistencia al agua salada, su alta resistencia y durabilidad, la gran longitud de sus fibras, su poca conductividad térmica y que su cultivo requiere de pocos agroquímicos.

¿Cómo se desarrolla la actividad en Costa Rica?

Las empresas exportadoras de abacá con mayor prominencia en el país son Glatfelter y Nippon Paper, quienes trabajan de la mano con los productores nacionales.

Actualmente existen más de 600 productores en el país. La vasta mayoría de ellos cuentan con 1 o 2 hectáreas para cultivar, y no son dueños de una máquina desfibradora ni cuentan con operarios para esta. En menor cantidad existen productores con al menos 5 y hasta 30 hectáreas, quienes sí cuentan con su propia máquina y equipo de trabajadores. Las principales zonas productoras de abacá son Limón (todos los cantones), Heredia (Río Frío, Sarapiquí, La Virgen) y Puntarenas (Osa y Golfito) [5]. La introducción de este cultivo ha sido beneficiosa para diversificar y aumentar los ingresos de las poblaciones de bajos recursos, particularmente en grupos vulnerables como poblaciones indígenas y mujeres [6, 7].

Ha sido posible desarrollar esta actividad en pequeñas plantaciones gracias a un convenio entre las empresas y los productores, mediante el cual las

empresas dotan a los productores de una máquina desfibradora, herramientas y una cuadrilla de trabajo, compuesta con 2 a 3 trabajadores capacitados, por el descuento de \$0.80 por kg de fibra al comprarla. La fibra de primera calidad se compra a \$1.80 por kg, la de segunda calidad a \$1.50 [Anexo 1].

Esto permite a productores para quienes no es posible ni rentable comprar una máquina desfibradora desempeñar esta actividad; la Figura 2 expresa visualmente esta relación y los agentes involucrados. El diagrama de la Figura 2 excluye a aquellos productores con cultivos mayores a 5 hectáreas, pues tienen su propia máquina desfibradora y se encargan del proceso por su cuenta.

La empresa Nippon Paper no busca generar ganancias mediante la provisión del servicio de desfibrado, por lo que una reducción en los costos de esta etapa del proceso implica directamente un aumento en las ganancias de los productores.

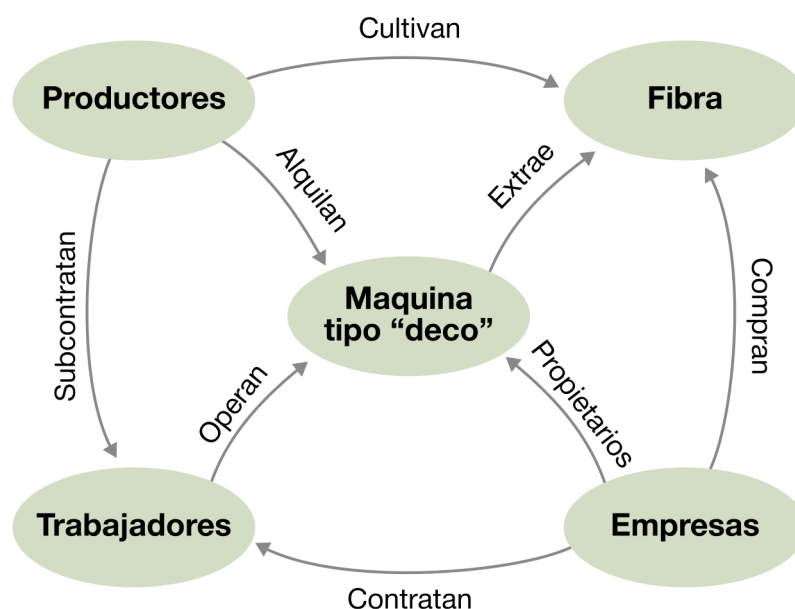


Fig. 2. Mapa de relaciones.

Máquina tipo "deco"

La extracción de la fibra de abacá se realiza mediante una máquina tipo "deco" (abreviatura de decorticator). Esta consiste en un tambor metálico con aspas lisas que gira a 900 RPM aprox, potenciado por un motor de gasolina estacionario. Las cáscaras de abacá se insertan por la boquilla de la carcasa. Al entrar son machacadas entre las aspas del tambor y la platina de la boquilla. Al salir, estas mismas piezas raspan el bagazo resultando en la fibra limpia y lista para el secado. En el anexo 4 se detalla esta interacción con un enfoque en el usuario.



La máquina se encuentra sobre una estructura con ruedas que le permite acoplarse a una variedad de vehículos y ser transportada hasta su lugar de uso. Este es un factor primordial para la elección de este modelo sobre otros métodos de extracción debido al contexto nacional.

En el país la actividad productiva del abacá se da a muy pequeña escala, distribuida en pequeños focos familiares. Esto implica que la mayoría de productores deben alquilar o pedir prestada la máquina y transportarla hasta su propiedad. Es por este motivo que máquinas como la desfibadora tipo “spindle” no funcionan en el contexto nacional, la escala de producción no es suficiente para ameritar una infraestructura de procesamiento centralizada. Los diferentes métodos de extracción de la fibra se analizan con mayor profundidad en el anexo 5.



El puesto de trabajo de desfibrado de abacá tiene lugar en la finca donde se cultiva, debido a que se debe cosechar y procesar la planta brevemente después de alcanzar la madurez para obtener una calidad de fibra óptima. Los trabajadores laboran en una misma finca durante varios días hasta terminar de procesar la cosecha madura. Durante estos días deben formar puestos de trabajo improvisados, como el observado en la página 15.

Arriba: Fig 3. Máquina Desfibadora. Industrias Roli.

Abajo: Fig 4. Máquina desfibadora abierta. Taller Chaqui.

Estos se construyen colocando un palo de bambú u otro material comúnmente disponible y ligero, entre 2 o 3 brotes crecidos de abacá y asegurándose con cuerdas. Esta barrera sirve para apoyar las cáscaras por procesar y como superficie para colgar la fibra extraída.

Los trabajadores de la cuadrilla implementan una repartición del trabajo en la que uno de ellos se dedica a cortar el tallo y separar las cáscaras que lo componen, otro a desfibrar las cáscaras mediante la máquina, y otro a pasarle las cáscaras al que opera la máquina. Se turnan estas tareas durante el día.

La movilidad dentro del puesto de trabajo se ve limitada por la superficie sobre la que caminan, ya que al desfibrar esta se llena de bagazo, una mezcla heterogénea y húmeda que se acumula debajo de la máquina. Para caminar más fácilmente sobre él, utilizan botas de hule, sin embargo a la hora de desfibrar los pies se mantienen estáticos, ocurriendo una rotación del tronco en su lugar.

El cultivo del abacá se da en su mayoría en zonas húmedas y cálidas. Las temperaturas rondan entre los 25°C y los 35°C durante las horas de trabajo [8], factor el cual los trabajadores afirman que afecta su rendimiento laboral (Ver anexo 1). En la época lluviosa montan un toldo debajo del cual trabajan protegidos de la lluvia.



2.2 Usuarios

Los dos usuarios a quienes afectaría directamente una modificación de la máquina son, por supuesto, los trabajadores que realizan tareas de desfibrado, pero también los pequeños productores que dependen de los servicios de desfibrado de la empresa.

Los trabajadores

Según la investigación y observaciones realizadas, algunos factores que describen el trabajador promedio son:

Demográficos:

- Son en su mayoría hombres jóvenes.
- Originarios de zonas rurales cercanas a focos de población.
- Tienen familia o hijos propios, su trabajo es una fuente de ingresos indispensable para su hogar.
- Clase baja o media-baja.

Personales:

- Tienen energía, están sanos y fuertes.
- Tienen experiencia trabajando en actividades de cultivo y cosecha.
- Siempre tienen el celular al alcance de la mano.
- Les preocupan/piensan en sus familias, sus parejas, sus hijos, etc.
- Si tienen hijos, citan a estos como un gran impulso para trabajar duro
- Tienen una gran ética laboral, mantienen un ritmo de trabajo intenso.

Culturales:

- Al principio sentían miedo al desfibrar pero tuvieron que reprimir el sentimiento para poder realizar el trabajo.
- Saber que su familia depende económicamente de ellos es un factor de presión e incluso angustia.
- El ambiente de trabajo es sumamente dominado por hombres, si uno de ellos expresa temor, cansancio, etc. recibe una respuesta social negativa por parte de los demás.

Los productores

Según la investigación y observaciones realizadas, algunos factores que describen el productor promedio son:

Demográficos:

- Son hombres o mujeres de una edad más avanzada (50+).
- Originarios de zonas rurales.
- Tienen hijos o nietos.
- El abacá no es su principal fuente de ingresos, pero es un complemento valioso para aumentar sus ingresos.
- Clase baja o media-baja. Sus finanzas personales se ven muy beneficiadas por el ingreso adicional que provee el abacá.

Personales:

- Están sanos, pero ya no tienen tanta energía o fuerza como durante su juventud.
- Llevan muchos años ganándose la vida mediante la producción agrícola, pero recientemente adoptaron el abacá como parte de sus actividades productivas.
- Les gusta pasar tiempo con su familia, hijos y nietos.
- Están deseosos de aprender las mejores maneras de realizar el cultivo para obtener una buena productividad.

Culturales:

- Años atrás, las actividades productivas agrícolas dejaban un mayor porcentaje de ingresos al agricultor. Ahora resulta decepcionante recibir menos de lo que sienten que merecen por el trabajo que realizaron.
- Creen en el valor del trabajo duro.
- Mantienen el valor de usar el dinero para apoyar a su familia y comunidad, no para gastarlo en cosas frívolas.

2.3 Interacción actual

Mapeo de actividades

Mediante la observación realizada en la gira a Siquirres y la gira a la Estación Experimental Los Diamantes se pudo identificar las actividades que realizan los trabajadores en un día de trabajo promedio. El desfibrado es analizado paso por paso en el Anexo 4.

- **Preparar puesto de trabajo:** Ubican un lugar cercano al punto donde un vehículo dejó la máquina. El lugar debe tener 3 plantas maduras de abacá, entre las cuales apoyan un tronco de bambú u otro material disponible. Lo aseguran a las plantas con cuerda, dejando dos segmentos. En uno de los segmentos se apoyan las cáscaras que hay que procesar. En otro, el operador de la máquina va dejando la fibra extraída.
- **Cortar tallos:** Cortan el tallo de abacá en 2 segmentos, realizando 3 cortes con machete. El primer segmento va desde el corte de las hojas hasta la mitad del tallo y el segundo desde la mitad del tallo hasta 10 cm aprox desde el piso. Los segmentos miden 1,74 m en promedio [9].
- **Separar cáscaras:** Cortan un segmento de tallo a la mitad. Con cada mitad van pelando las capas que la componen, dejando segmentos conocidos como cáscaras. Al separarlas las ponen en una de dos pilas, clasificando en primera y segunda calidad, según el color de la cáscara.
- **Transportar cáscaras al puesto de trabajo:** Cada 2 o 3 tallos separados, el trabajador acerca las cáscaras al puesto de trabajo de desfibrado, manteniendo la separación entre las de primera y segunda calidad.
- **Pasar cáscaras a compañero:** Un trabajador se para al lado del compañero que está desfibrando y le va pasando cáscaras de abacá una a una para facilitar y agilizar el trabajo de su compañero.
- **Desfibrar:** El trabajador que está desfibrando toma una cáscara, la inserta en la máquina hasta la mitad de su longitud, la saca, la voltea y repite con el extremo opuesto, procesando la totalidad de la cáscara. Cuando termina la cuelga en el segmento del palo correspondiente. El anexo 4 contiene un análisis a mayor detalle de cada movimiento que compone esta interacción, al ser el objeto de estudio de este proyecto.
- **Llevarse la fibra:** Uno de los trabajadores que no está desfibrando toma el montículo de fibra extraída del segmento donde las coloca el

compañero que las desfibró. Las lleva a ser colgadas en otro lugar donde se puedan secar, o para ser transportadas a un lugar de secado.

- **Remover bagazo:** Los modelos más antiguos de máquina desfibradora no habían perfeccionado la estructura ideal para la tarea, por lo que algunos hacen que se genere una montaña de bagazo debajo de su salida, lo cual dificulta el desfibrado. Un compañero que no esté desfibrando lo debe empujar hacia un lado con sus manos o con la ayuda de una herramienta.
- **Limpiar muñonera:** El barril gira sobre una pareja de muñoneras. Es común que se enreden en el eje segmentos cortos de fibra, lo cual dificulta la rotación del barril, por lo que cada cierto tiempo los trabajadores deben detener la máquina y con ayuda de su machete romper las fibras que se han acumulado.



2.4 Problemas ergonómicos

Como parte de la investigación documental se analizaron videos de trabajadores desfibrando con máquinas “deco” en el territorio nacional [11, 12]. La observación permitió identificar los movimientos esenciales que componen la interacción con la máquina para poder analizar el riesgo ergonómico asociado a las posiciones adoptadas. El análisis de los videos se vio complementado por las respuestas al cuestionario del Anexo 1, ya que permitieron evaluar el riesgo ocupacional que presentan ciertos pasos. Finalmente, se pudo evaluar el esfuerzo físico asociado a cada paso en la gira a Siquirres, donde el diseñador desfibró tallos de abacá con la máquina para obtener experiencia de primera mano sobre la fuerza que deben generar los trabajadores en sus labores.

Los principales problemas del aspecto ergonómico encontrados en la interacción actual se resumen en los siguientes puntos:

- **La frecuencia de las repeticiones:** las tareas con ciclos de trabajo más cortos (rápidos) tienen mayor incidencia de lesiones, por lo que son un indicador del riesgo asociado a la actividad. En la tarea de desfibrado de una cáscara de abacá el ritmo varía según la técnica del trabajador. Algunos trabajadores más ágiles y experimentados tardan 2 a 3 segundos por cáscara. Otros toman entre 4 y 6 segundos por cáscara. No toman descansos entre cáscaras. Es un ritmo de trabajo muy intenso que cada trabajador debe realizar por aproximadamente 2 o 3 horas al día, con pocos descansos en medio. Cada trabajador produce entre 13 y 33 kilos de fibra seca diariamente. Dependiendo de la variedad de abacá eso significa que cada trabajador procesa entre 220 y 700 kg de cáscaras de abacá por día. Esas son cientos y hasta miles de repeticiones que debe realizar cada trabajador cada día.
- **El agarre de fuerza:** Realizar un agarre de fuerza somete a las estructuras anatómicas de la mano como tendones y vainas sinoviales a esfuerzos proporcionales a la fuerza del agarre [10]. Esto se ve agravado también por las fuertes vibraciones que produce la máquina, ya que obliga al trabajador a aumentar la fuerza de agarre. Los trabajadores realizan el agarre durante casi la totalidad de las 2 a 3 horas que operan la máquina en un día de trabajo. La queja más común entre trabajadores novatos era dolor en las extremidades superiores, específicamente en las manos y brazos. Eventualmente sus cuerpos se acostumbraron a la interacción, pero se desconocen los efectos a largo plazo en los cuerpos de los trabajadores.
- **El esfuerzo físico:** Los trabajos de producción agraria son conocidos por el desgaste físico que producen en sus trabajadores y el desfibrado

de abacá no es la excepción. Los trabajadores deben producir con sus propios cuerpos, sin ningún apoyo técnico, fuerza suficiente para superar la fuerza generada por un motor de 9 caballos de fuerza. La máquina tiene poleas que le permiten aumentar el torque que produce. El barril giratorio está hecho de metal y pesa más de 20 kilos. Si bien el trabajador no debe igualar el 100% de la fuerza producida por el motor ya que sería imposible, debe realizar aproximadamente un 30% de esta [ver anexo 2]. Este esfuerzo es agotador y desgastante. Si bien la jornada del trabajo ya es dura y laboriosa, la operación de esta máquina se suma a estas dificultades. Además, la cantidad de fuerza que requiere esta máquina excluye a las mujeres de realizar esta actividad al mismo nivel de producción que un hombre.

2.6 Lista de requerimientos

A partir de la investigación y análisis realizados se concluyó la siguiente lista de requerimientos delimitados por sus requisitos correspondientes y definidos por uno o varios parámetros.

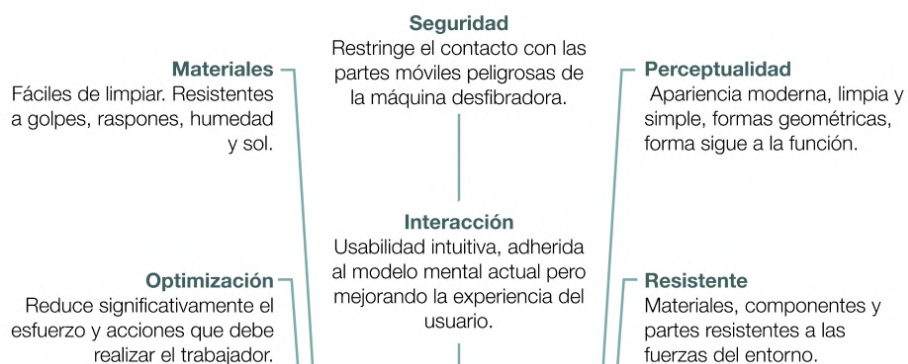
Requerimiento	Requisito	Parámetro
Fácil de limpiar y dar mantenimiento [Deseable]	Puede ser desmontado fácilmente	Utilizar tuercas y tornillos aptos para llaves #9 o #10
	Superficies fáciles de limpiar	Esquinas redondeadas con radios de al menos 5 mm
		Materiales y acabados resistentes a agentes químicos
Puede ser detenido a conveniencia del trabajador [Indispensable]	Parada de emergencia al alcance del trabajador desde donde está parado	Distancia máxima de 65 cm desde el puesto que toma el trabajador
No aumenta los costos de desfibrado [Indispensable]	Rendimiento igual o mayor al promedio actual	Rendimiento diario de al menos 60 kg
Fácil de transportar [Deseable]	Acoplable a la máquina existente	Sistema de acople
Reemplaza el agarre realizado por el trabajador [Indispensable]	Puede sostener, meter y sacar la fibra de la máquina	Capaz de producir al menos 170 Nm de torque en dirección contraria a la máquina
Aumenta la seguridad de la interacción [Indispensable]	Bloquear el acceso de la mano a las partes móviles de la máquina	Ninguna apertura mayor a 20 mm en proximidad de la boquilla
Interacción intuitiva para los trabajadores [Deseable]	Seguir el modelo mental actual	Morfología de boquilla similar a la actual
	La forma indica la función	Morfología simple y funcional

Tabla 1: Requerimientos, requisitos y parámetros

2.7 Concepto de diseño

Seguridad y eficiencia en el desfibrado del abacá

Tecnología y diseño aplicados para facilitar el proceso de desfibrado



¿Qué es?

Un sistema electromecánico que reduzca el esfuerzo realizado por los trabajadores mediante la semi-automatización del desfibrado de abacá.

¿Para quién?

Va a ser utilizado por los trabajadores y comprado por las empresas que provean el servicio de desfibrado de abacá.

¿Para qué?

Para mejorar la calidad de vida de los trabajadores al mismo tiempo que se reduce el costo de la operación de desfibrado.

¿Dónde?

En las zonas rurales de Costa Rica donde se cultive abacá.

¿Cómo?

Mediante un sistema con funciones de sujeción y movilización de la fibra que se acople a las máquinas desfibradoras actuales.



Fig. 5. Infografía de concepto de diseño.

Etapa ii: Crear

La investigación realizada en la etapa 1 permitió conceptualizar algunas de las funciones que debería cumplir una solución que se adecuara al problema de diseño. Esta segunda etapa transforma estas ideas de funciones abstractas en propuestas de diseño puntuales. Las 4 propuestas seleccionadas atravesaron un proceso de retroalimentación por parte de los fiscales del proyecto, el asesor académico y el asesor institucional, resultando en una única propuesta para ser desarrollada. Este proceso se explica con mayor profundidad en la sección 3.1.

El desarrollo de las propuestas fue nutrido por consultas a profesionales de distintas áreas, las cuales ayudaron a asegurar que la solución fuera viable en los diversos ámbitos que se debían tomar en cuenta.

Además de las consultas a expertos se realizaron prototipos de baja fidelidad que permitieron explorar la interacción y funcionalidad de la propuesta, realizando los cambios que se consideraron adecuados. Se realizó un análisis tecnológico [Anexo 10] que permitió evaluar las distintas alternativas relacionadas a materiales, componentes, procesos, etc. para seleccionar aquellos que se ajustaran mejor al problema de diseño.

La propuesta final se detalla en un modelo 3D, cuyos sistemas son nombrados, detallados y descritos en la sección 3.4.



3.1 Selección de la propuesta

El día 11 de septiembre de 2023 se presentó el primer avance del presente proyecto al tribunal evaluador. En esta sección se muestran las propuestas que fueron mostradas a los fiscales, la retroalimentación recibida por los fiscales y por el asesor académico, y el proceso final de selección de la propuesta.

Cabe aclarar que para la conceptualización de las propuestas mostradas a continuación se trabajó con una lista de requerimientos inicial, la cual se siguió nutriendo hasta resultar en la lista mostrada en la sección 2.6. La lista de requerimientos sobre la cual se construyeron estas propuestas se puede observar en el Anexo 6. Para el desarrollo de las 4 propuestas se trabajaron 2 conceptos divergentes. El primero buscaba adaptar la estructura de la máquina existente, funcionando más como un accesorio, mientras que el segundo buscaba reestructurar la máquina por completo y aplicar los principios de extracción de la fibra observados en la sección 2.4.

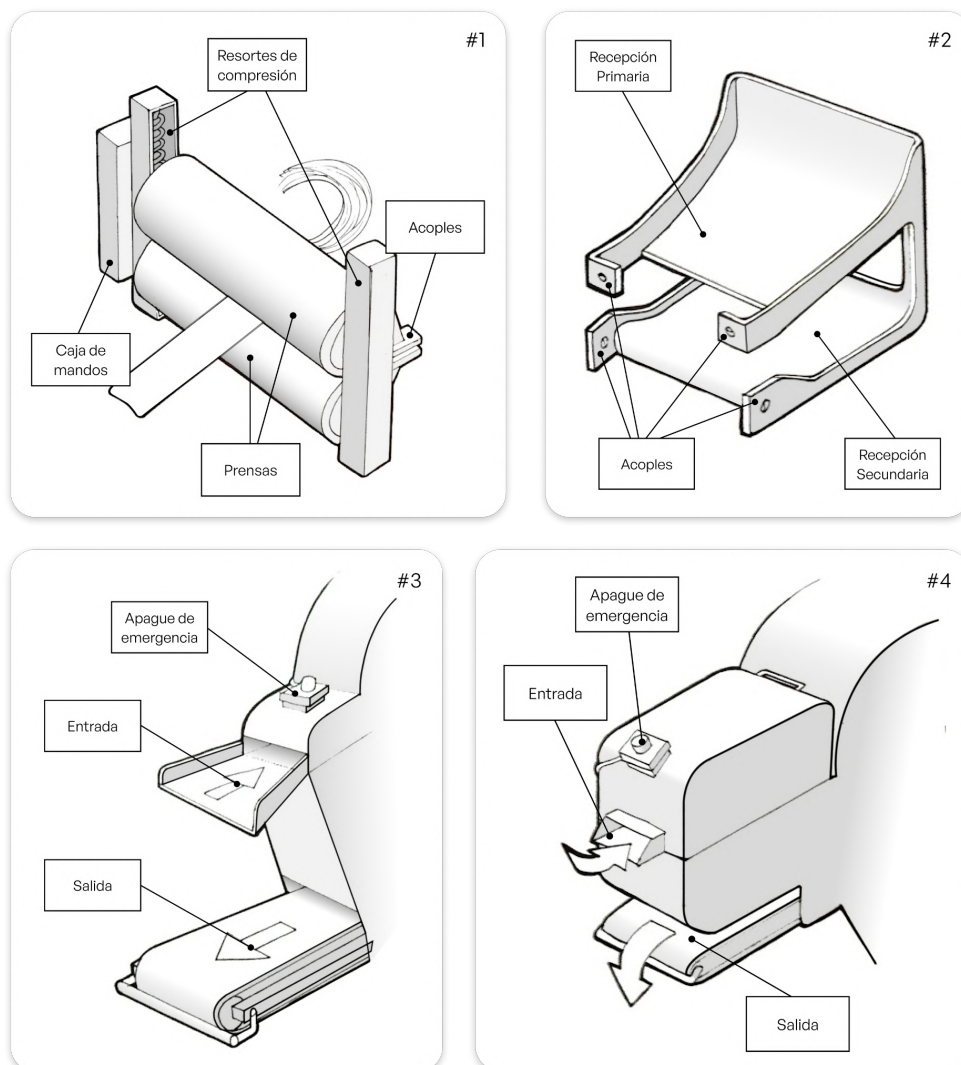


Fig. 6. Propuestas de diseño

Se les presentaron las propuestas a los fiscales junto a una muy breve explicación oral del proceso conceptual detrás de cada una. La principal recomendación realizada por los fiscales fue tener en cuenta el plazo y los recursos con que se cuenta para realizar el proyecto. Los fiscales no recomendaron proponer una reestructuración total de la máquina debido a que el aspecto ingenieril de un proyecto así es tan complejo que podría quitarle recursos al diseño de la interacción, a pesar de esta ser la parte más relevante del grado por el que se está optando. El asesor académico compartió estar de acuerdo con las observaciones hechas por los fiscales. La retroalimentación obtenida fue sumamente valiosa, por lo que se desearon las propuestas del segundo bloque y se decidió seguir adelante con las del primer bloque.

Cabe aclarar que se exploraron otros sistemas mecánicos para la sujeción y movilización de una hoja, sin embargo al ser bastante conceptuales y no tener presencia en ningún objeto existente actualmente se descartaron, optando por el sistema de rodillos. En la sección 3.2 se detalla la exploración de otro sistema mecánico y como al final se volvió al sistema de dos rodillos al no poder demostrar su efectividad en el contexto de uso de la desfibradora.

Evaluación de las propuestas

Una vez se definió la dirección de las propuestas, se idearon más interfaces aplicando el mismo sistema mecánico de la primera propuesta [ver anexo 8], las cuales fueron evaluadas bajo la siguiente rúbrica:

Rubro [ver Anexo 9]	Peso asignado
Interacción intuitiva	35%
Transportable	25%
Sistema simple	20%
Fácil de limpiar	15%
Manufactura simple	5%
Total	100%

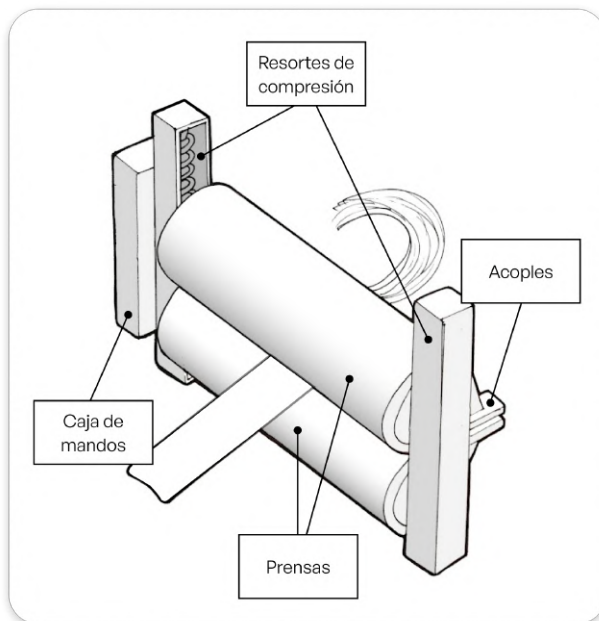
Tabla 2: Pesos asignados a rubros de evaluación de propuestas.

Las propuestas desarrolladas se mantuvieron a un bajo grado de exploración porque se quiso mantener este proceso breve para empezar a crear una propuesta concreta. La evaluación de las alternativas se detalla a continuación:

	Interacción intuitiva (35%)	Transportable (25%)	Sistema simple (20%)	Fácil de limpiar (15%)	Manufactura simple (5%)	Calificación [%]
#1	70 [24.5%]	100 [25%]	100 [20%]	100 [15%]	100 [5%]	89.5
#2	50 [17.5%]	70 [17.5%]	80 [16%]	70 [10.5%]	70 [3.5%]	65
#3	70 [24.5%]	100 [25%]	100 [20%]	90 [13.5%]	100 [5%]	88
#4	70 [24.5%]	70 [17.5%]	50 [10%]	60 [9%]	50 [2.5%]	63.5
#5	85 [29.75%]	100 [25%]	100 [20%]	100 [15%]	100 [5%]	94.75

Tabla 3: Evaluación de propuestas

3.2 Desarrollo de la propuesta



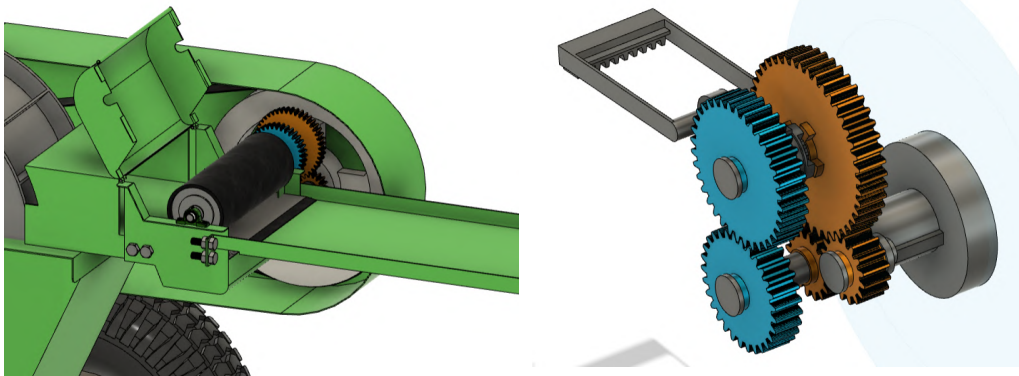
Primera iteración

- Inició únicamente como los rodillos, sin carcasa ni bandeja
- Inicialmente el control de la dirección de giro se daba con una palanca operada por el pie.
- No existía ninguna guía para la inserción de la cáscara.
- La carcasa era meramente estructural, no aislaba a los componentes del entorno.
- No se había pensado en cómo potenciar el movimiento de los rodillos



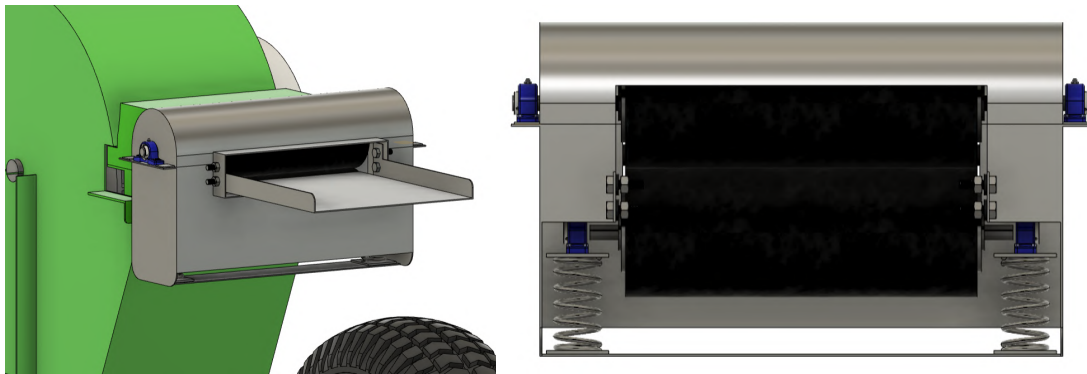
Segunda iteración

- Mediante una maqueta de baja fidelidad [Ver anexo 7] se determinó que la falta de apoyo para la cáscara hacía que su inserción a los rodillos requiriera de una mayor precisión. Esto no es apto para el contexto de uso ya que se trabaja a un ritmo muy acelerado, por lo que se decidió agregar una bandeja y una boquilla.
- Los resortes quedaban a la intemperie, propensos a oxidarse con la lluvia y humedad del entorno de uso, por lo que se agregó una carcasa que los protegiera a un mayor grado.
- Se propuso realizar el movimiento de los rodillos con motores “stepper” por su facilidad de control.
- Por sugerencia del asesor académico, se retiró el control de la dirección por medio de una palanca accionada por el trabajador, reemplazándolo por un sistema inteligente que controle la rotación de los motores “stepper”, de manera que inserte y saque la cáscara de manera automática.



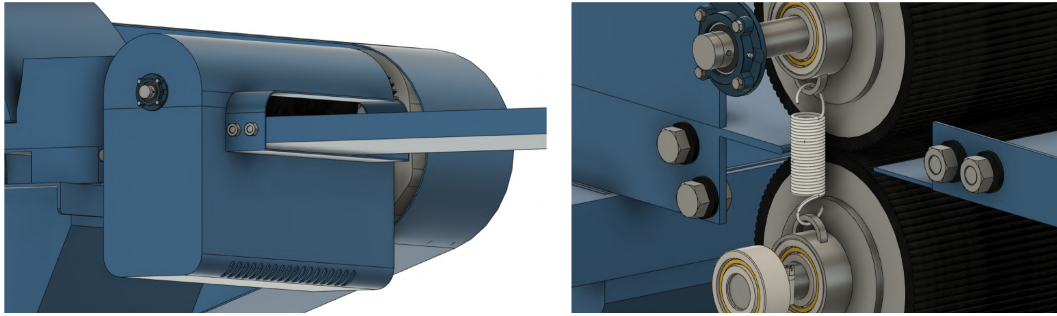
Tercera iteración

- Después de la segunda iteración se realizó la primera gira a Siquirres en la que el diseñador utilizó la máquina desfibradora. La experiencia permitió sentir en carne propia los esfuerzos realizados por los trabajadores.
- Entre ambas iteraciones se realizaron experimentos para tantear una teoría de que el movimiento podía darse presionando la cáscara entre una platina y un rodillo. Esto con el propósito de simplificar el sistema mecánico, según el conocimiento del diseñador al tiempo que se hizo esta iteración.
- El principal cambio fue que se retiró el sistema de dos rodillos y se reemplazó por un sistema de un rodillo y una platina con resortes de compresión. En el momento del cambio los resultados de los experimentos eran generalmente positivos, mostrando que era posible movilizar y prensar la cáscara de esta manera. No se realizó ninguna comprobación de alta fidelidad para demostrar la teoría.
- Durante la gira se pudo dimensionar la potencia con la que gira el rodillo y sentir la fuerza de la máquina. Mediante una investigación sobre motores “stepper” capaces de producir un torque cercano al necesario se determinó que su precio es inaccesible para el contexto de uso.
- Se decidió reemplazar los motores por un sistema de poleas y bandas, de manera que los rodillos se movieran con la energía del mismo motor que mueve el barril. Esto también resolvió el problema de la fuente de energía de los motores “stepper”, la cual no se había considerado en iteraciones anteriores.
- Para controlar la dirección de giro de los rodillos se planteó una caja de cambios con dos marchas, adelante y atrás, cuya pieza selectora era controlada con un sistema de cremallera-engranaje-servo.



Cuarta iteración

- Se realizaron más experimentos para demostrar que el sistema rodillo-platina era apto para mover la cáscara, pero ahora con materiales de mayor fidelidad a los propuestos en el diseño. Los resultados eran muy inconsistentes, por lo que se decidió volver al sistema rodillo-rodillo de las iteraciones anteriores. Este sistema es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales donde es necesario movilizar objetos de bajo grosor.
- Todavía existía la necesidad de realizar un agarre de la cáscara, por lo que se aplicó un sistema de resortes de compresión laterales. Esto resultó en un ensanchamiento de la carcasa.



Quinta y actual iteración

- Hasta el momento no se había puesto atención al aspecto perceptual de la propuesta, por lo que se realizaron cambios morfológicos que reflejaran la inspiración formal detallada en el moodboard de la sección 3.4.
- Durante la realización de la maqueta funcional de alta fidelidad en el Taller de la Escuela de Diseño Industrial se presentaron dificultades con el acople de los resortes al rodillo y la carcasa. Por sugerencia de Danilo Solano, técnico electromecánico del taller, se reemplazaron los resortes de compresión colocados entre el resorte inferior y la carcasa, por resortes de extensión colocados entre ambos resortes. También propuso que se realizara una camisa ovalada en la cual colocar el rodillo inferior para restringir su movimiento. Estos cambios fueron incorporados en la propuesta final al probar su efectividad con la maqueta.
- Por sugerencia de uno de los usuarios en las verificaciones, se añadió señalética que indica que la bandeja es tanto para entrada como para salida.
- Mediante la observación de cómo y dónde colocan inicialmente los usuarios la cáscara, se tomó la decisión de mover el sensor de proximidad a las afueras de la boquilla, debido a que no todos los usuarios colocaban la “cáscara” por completo en la bandeja, pero en todas las pruebas la apoyaron al menos en las afueras de la boquilla.

3.4 Estructura de la propuesta

Estética y percepción

El contexto de uso, un campo donde se cultivan y cosechan parientes del plátano, parece ser un lugar donde reina el diseño estrictamente funcional. Si bien no es el lugar para un objeto meramente decorativo, la estética de los objetos con los que interactuamos diariamente afecta nuestro estado de ánimo, nos generan emociones y hasta cierto punto creamos lazos con estos objetos. El enfoque perceptual para el producto busca crear una “funcionalidad estética”, inspirada en el diseño sobrio y minimalista condensado por los principios de diseño de Dieter Rams, la

morfología moderna y sencilla del diseño escandinavo y la simplicidad representada por el diseño japonés de las últimas décadas.

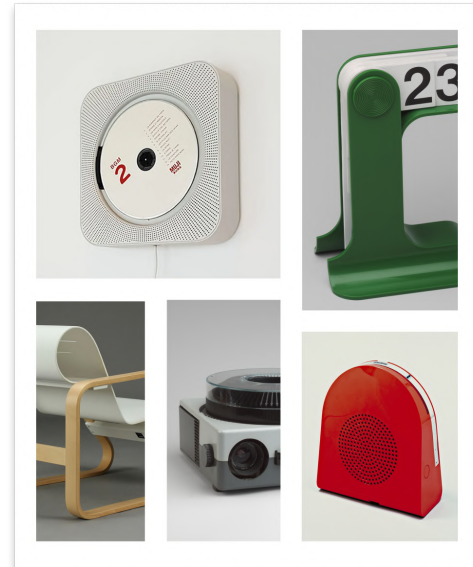


Fig. 7. Moodboard de inspiración morfológica

Renders

De la estructura general del producto.

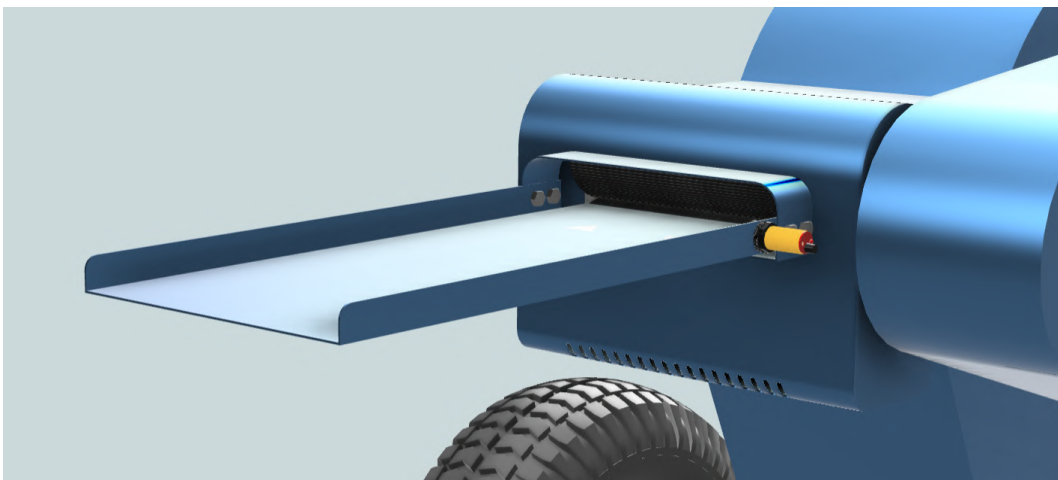
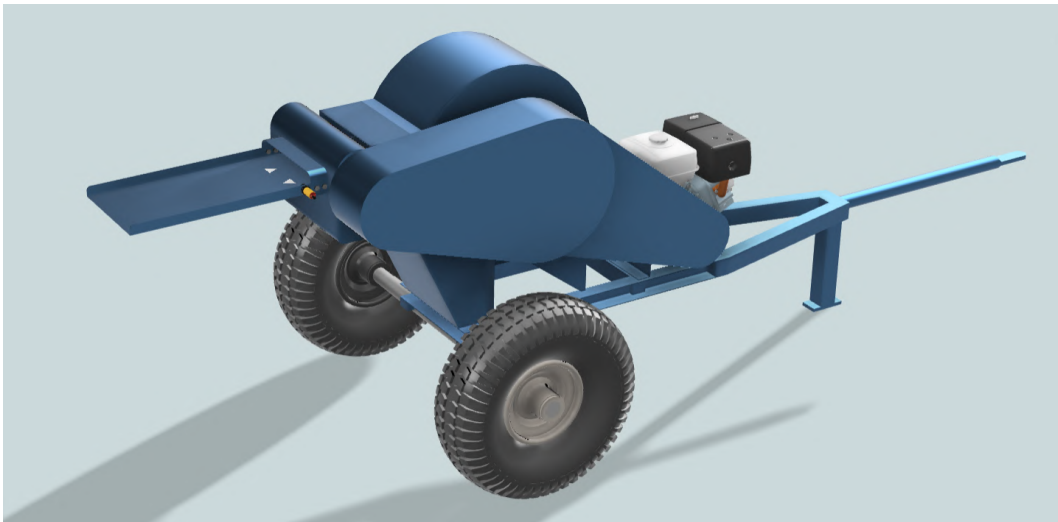
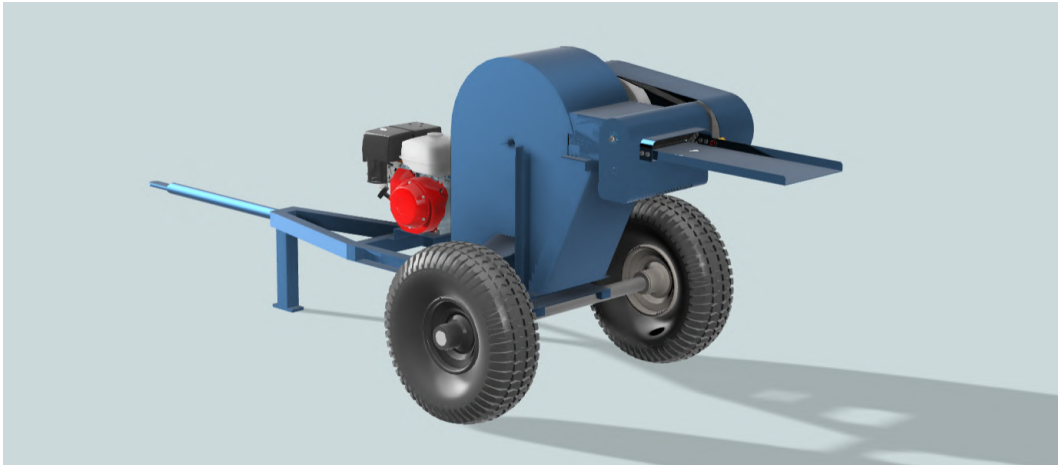
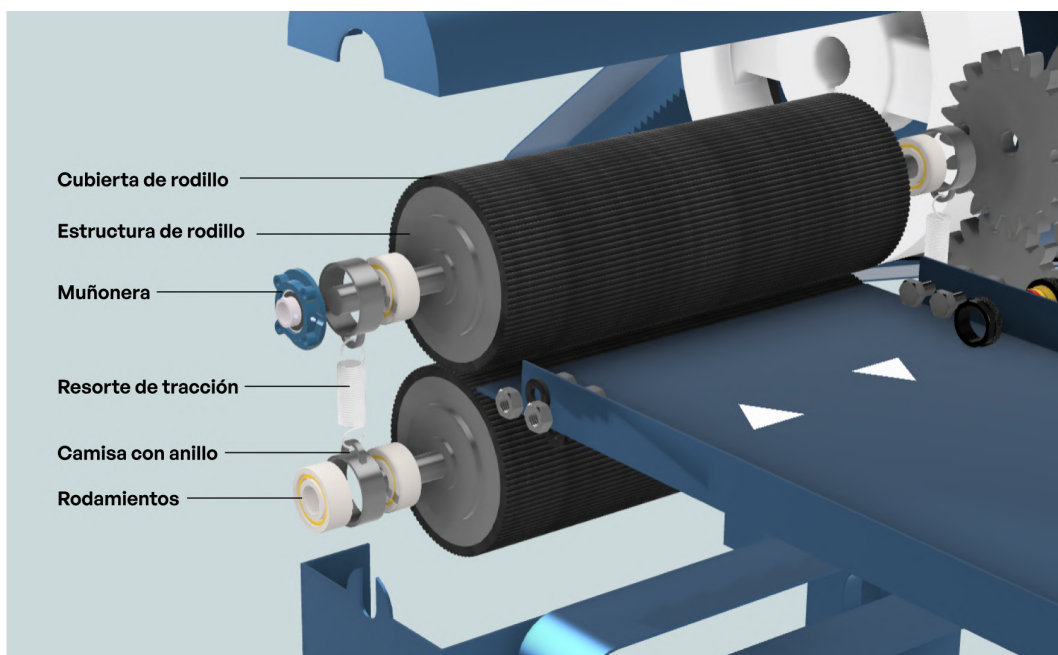
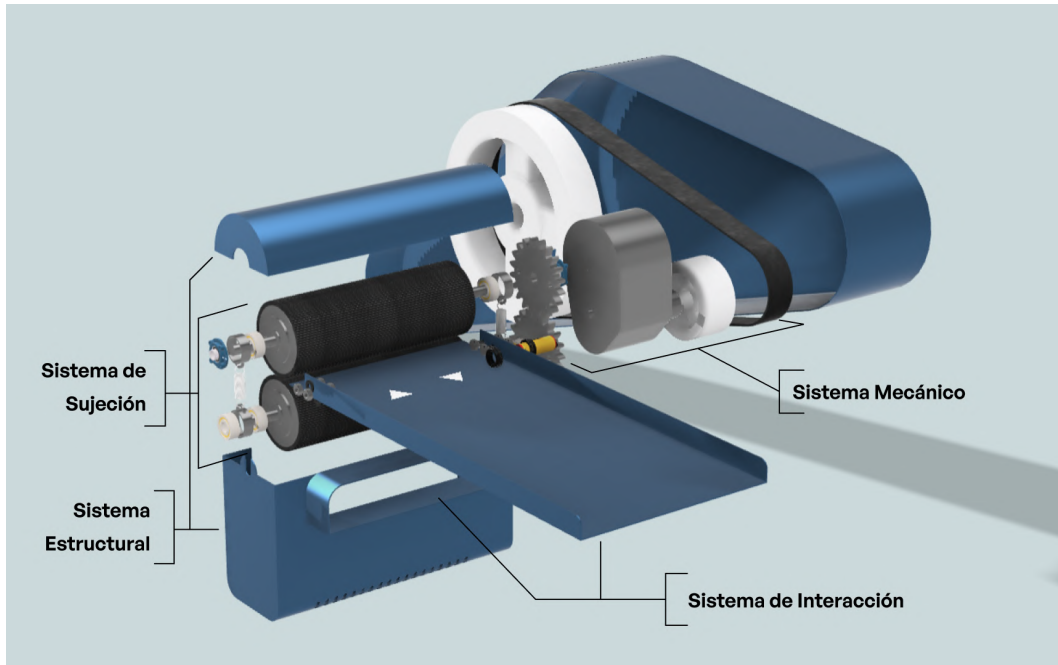


Fig 8. Collage de renders del producto

Explosos de sistemas

Muestran las partes que componen algunos de los sistemas, con un detalle del sistema de sujeción.



Arriba: Fig 9. Explosos del producto.

Abajo: Fig. 10. Explosos de sistema de sujeción.

Esquema de sistemas y subsistemas

El siguiente esquema detalla los sistemas que componen la arquitectura de la propuesta, sus subsistemas, componentes y partes.

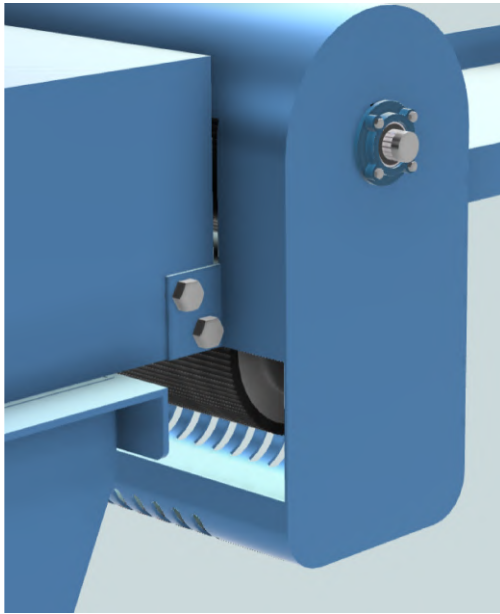
Sistema de interacción Define las áreas del producto que le comunican al usuario cómo interactuar con el objeto, así como proveer superficies que apoyan esta interacción	Boquilla	
	Bandeja	Bandeja Calcomanía (señalética)
Sistema estructural Contiene los diversos sistemas que componen el objeto, restringe las posiciones relativas entre componentes.	Carcasa superior	Estructura de aluminio
	Carcasa inferior	Estructura de aluminio Rejillas de drenaje Camisas ovaladas
	Bisagras	Eje de giro Placas de soporte
	Cubierta de poleas	

Sistema de sujeción Realiza el agarre de la cáscara de abacá mediante un recubrimiento de alta fricción y un sistema de compresión.	Rodillo Superior	Rodillo	Estructura interna del rodillo Recubrimiento del rodillo
		Eje	Rodamientos internos del rodillo Muñoneras Eje Tuercas Tornillos
	Rodillo inferior	Rodillo	Estructura interna del rodillo Recubrimiento del rodillo
		Eje	Rodamientos internos del rodillo Eje Rodamientos Abrazadera
	Subsistema de compresión	Camisas de rodamiento	Camisa Aro para el resorte
		Resorte de extensión	
		Rodamiento	

Sistema de acople Permite el desensamble del sistema para mayor conveniencia a la hora de limpiar y dar mantenimiento	Subsistema de unión boquilla-bandeja	Tornillos Tuercas Arandelas de hule
	Subsistema de unión carcasa-máquina	Tornillos Tuercas Arandelas de hule
Sistema electrónico Abarca los componentes electrónicos que definen la interacción con el sistema.	Subsistema de input y procesamiento	Sensor de proximidad Microcontrolador
	Subsistema de alimentación	Batería 9V Adaptador a batería
	Subsistema accionador	Servomotor Acople de servomotor

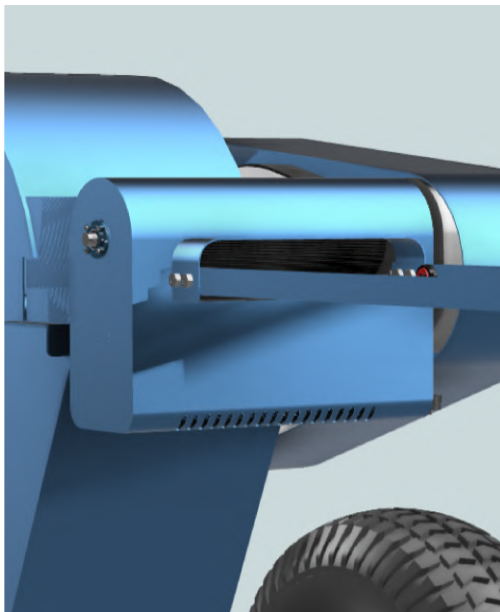
Sistema mecánico Permite la transmisión de movimiento entre partes, así como el control de la dirección de este movimiento.	Subsistema de cambio de marcha	Eje de input	Engranaje de giro libre de 24 dientes Engranaje de giro libre de 33 dientes Eje Rodamientos
		Eje de output	Engranaje de giro restringido de 12 dientes Engranaje de giro restringido de 26 dientes Eje Rodamientos
		Engranaje esclavo	Engranaje de giro libre de 16 dientes Eje Rodamientos
		Eje selector	Eje Selector Pieza selectora Engranaje selector Acople a servo
		Estructura	Carcasa Camisas
	Subsistema de transmisión de movimiento máquina-sistema	Polea 12" Polea 4" Banda de transmisión	
	Subsistema de transmisión de movimiento rodillo-rodillo	Engranajes de 10 cm	

Sistema estructural



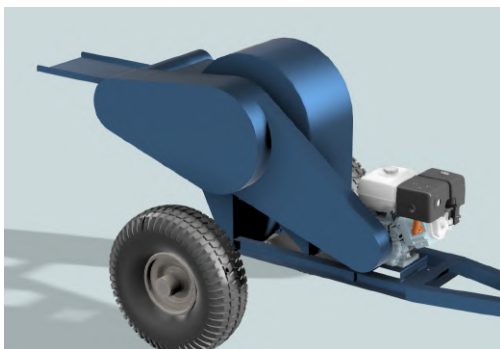
Ranuras de drenaje

Estas cumplen la función de dar un escape a los líquidos exprimidos de las cáscaras al ser presionadas por el sistema de sujeción. Además, fortalecen el concepto estético que se busca y se incorporan fácilmente al proceso de corte con Router CNC.



Funcionalidad estética

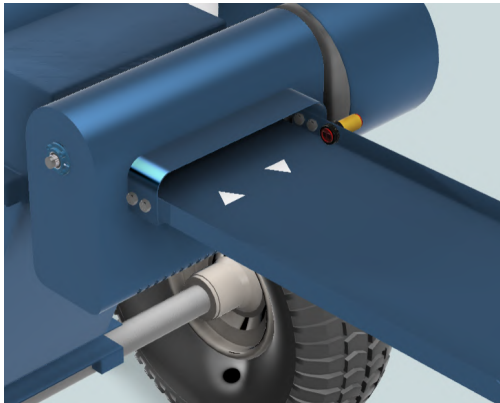
Para mantener una estética limpia y mínima se propone un corte simple que permite sujetar ambos rodillos en la carcasa inferior, mientras se mantiene la muñonera centrada en el círculo de la silueta



Forma sigue la función

La morfología de la nueva cubierta de poleas sigue la silueta formada por los diferentes árboles de poleas. La forma no solo ayuda a hacer un uso más eficiente del material, ayuda a señalar al usuario qué hay detrás de la cubierta para que adquiriera un mejor entendimiento de cómo funciona el producto.

Sistema de interacción



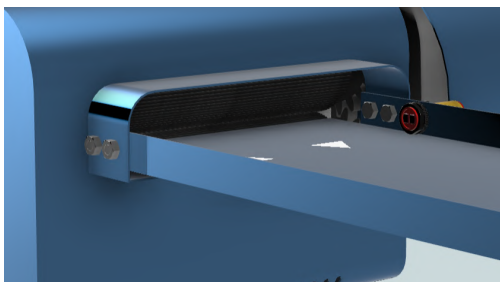
Señalética

Se propone el uso de dos calcomanías triangulares apuntando en direcciones opuestas para señalar que la bandeja es tanto de entrada como de salida, reduciendo la confusión de los usuarios y aumentando su entendimiento.



Barrera contra el peligro

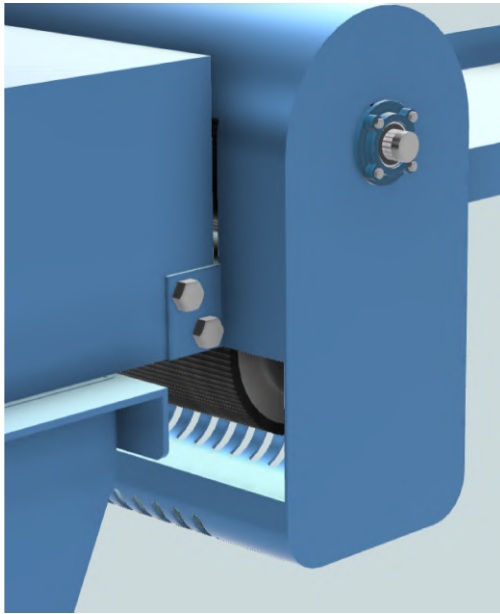
Si bien la nueva boquilla es tan solo 2 cm más angosta que la boquilla actual, la verdadera diferencia recae en que detrás de esta boquilla hay un par de rodillos que no admiten objetos mayores a 5mm, haciendo imposible que el usuario inserte su dedo accidentalmente.



Modelo mental

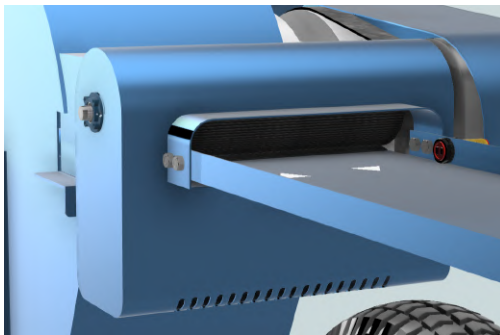
Al seguir una estructura muy similar a la de la boquilla actual, puede que los trabajadores experimentados tengan una mayor facilidad comprendiendo la interacción que deben realizar.

Sistemas de acople



Transportable

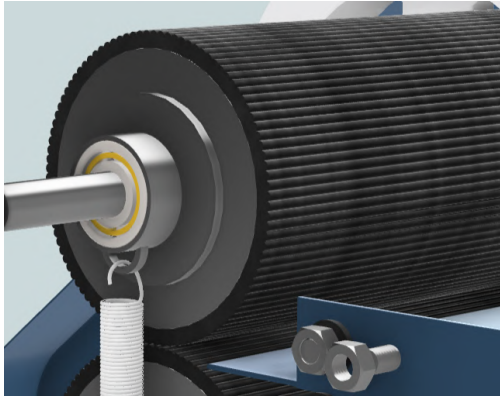
Al tener la capacidad de acoplarse a la máquina, se convierte en un sistema que se integra sin problema alguno a los métodos de transporte actuales. Además, al poder quitarse lo hace una opción de mejora fácil de implementar y versátil; el trabajador puede decidir si usa el sistema o no.



Fácil de limpiar

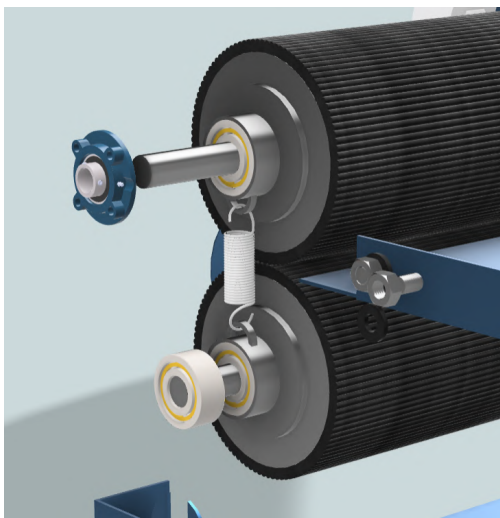
El propósito de hacer que la bandeja sea desmontable es, no sólo para facilitar la manufactura, sino también para facilitar las labores de limpieza, siendo esta de las partes que más se van a ensuciar.

Sistema de sujeción



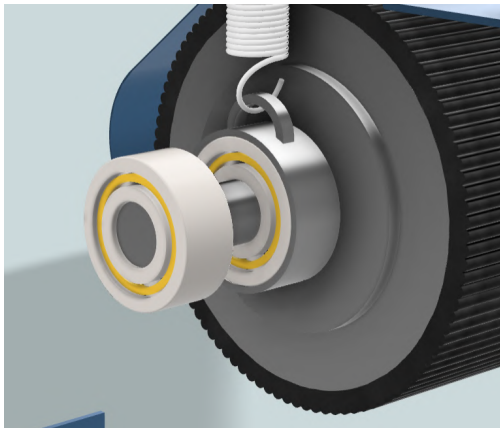
Agarre fuerte

Se propone el uso de caucho texturizado radialmente para aumentar la fricción que producen los rodillos, lo que equivale a producir un agarre más fuerte. Aumenta la fuerza de agarre sin utilizar un resorte más rígido de manera que la inserción de una cáscara pueda ser una tarea efectiva, fácil y rápida de realizar.



Compresión

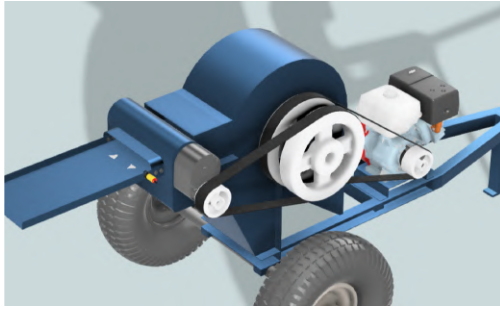
La diferencia entre el grosor de una cáscara de abacá vs. el grosor de la fibra de esa misma cáscara es significativo. Para funcionar bien en ambos contextos, se utilizó un resorte que mantiene la presión entre resortes sin importar el tamaño del objeto entre ellos.



Baja fricción

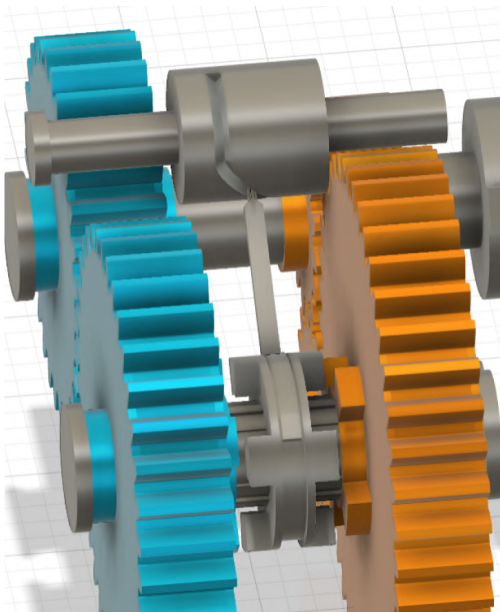
Se implementan sistemas que permiten mantener el giro del rodillo sin obstáculos y sin fricciones innecesarias.

Sistema mecánico



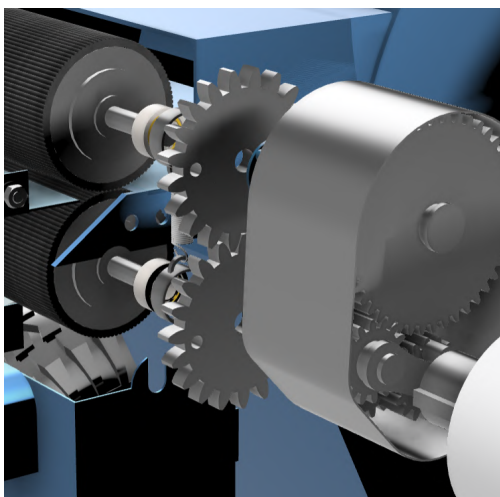
Repetibilidad de los componentes

Se propone el uso de otro par de poleas de 12" y 4", iguales a las que ya se utilizan. Al usar las mismas poleas se optimiza no sólo el proceso de compra sino que el de ensamblaje también.



Controlable

La caja de mandos permite cambiar por completo la dirección de la rotación de un sistema que gira con la misma energía que el barril, sin necesidad de un clutch u otros mecanismos caros y difíciles de implementar.

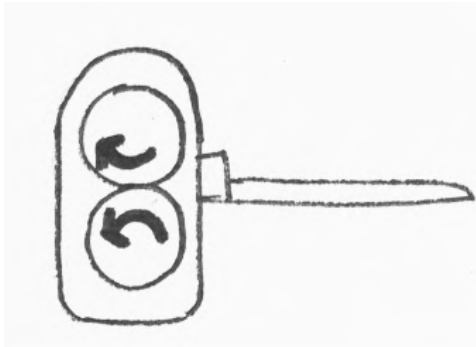


Sistemas simples

La principal preocupación del producto a nivel mecánico es la transmisión de movimiento rotacional. En todos los sistemas mecánicos planteados se buscó resolver la necesidad de la manera más simple y directa posible mediante el estudio de principios mecánicos y la consulta con expertos en el área. Al ser simples, son más fáciles de manufacturar, arreglar y reemplazar.

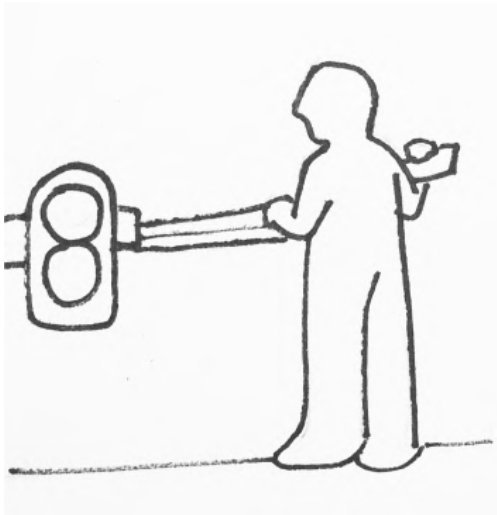
3.5 Nueva interacción

Proceso de desfibrado



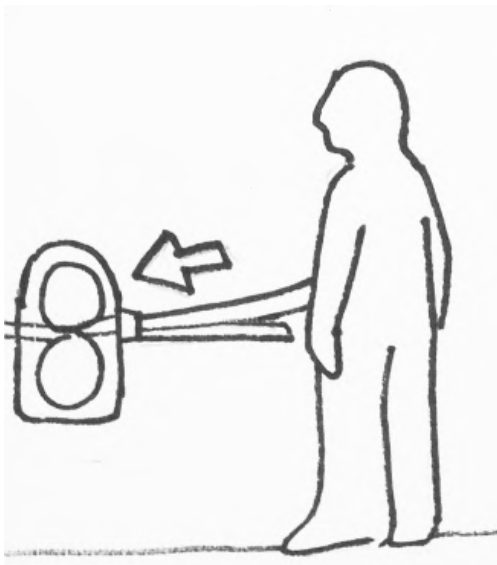
Modo default

La rotación default de giro de los rodillos es **hacia adentro** de la máquina. Se decidió que fuera de esta manera para que la inserción de las cáscaras fuera ágil, sin tener que esperar la respuesta de ningún sistema.



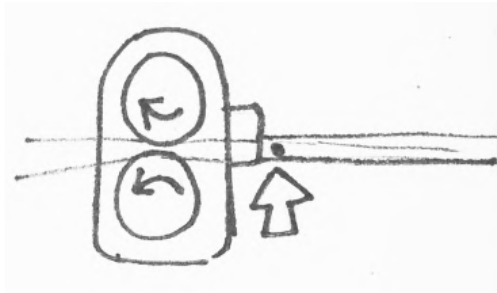
Inserción

El usuario apoya el extremo frontal de la cáscara en la parte más cercana a la boquilla, donde se mueve fluidamente hacia los rodillos. El usuario realiza un ligero impulso para que los rodillos la “agarrén”.



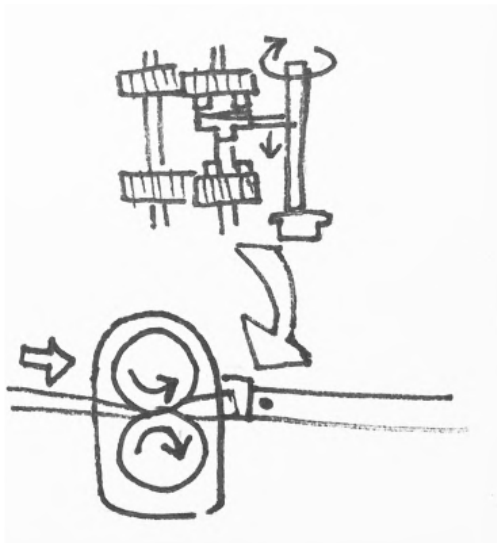
Procesamiento

Al ser “agarrada” por los rodillos, los rodillos empiezan a avanzar por su cuenta, entrando a la máquina para ser desfibrados. El usuario simplemente puede ver la cáscara entrar, no necesita sostenerla, agarrarla o empujarla más.



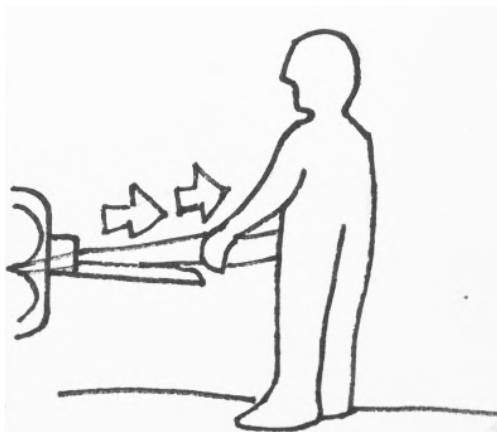
Sensor de proximidad

Conforme la cáscara va entrando a la máquina siendo movida por los rodillos llega un punto en el que se insertó la mayoría, cuando llega este punto, el sensor de proximidad detecta que ya no hay un objeto, enviando ese input al controlador.



Cambio de marcha

Al recibir la señal del sensor, el controlador envía señales al servomotor para que realice una rotación. La rotación gira el eje selector, cuyo canal hace que la pieza selectora mueva el engranaje selector hacia acoplarse a la otra marcha, causando que los rodillos cambien la dirección de su giro. El controlador aplica un retardo para mantener esta marcha hasta que saque la cáscara



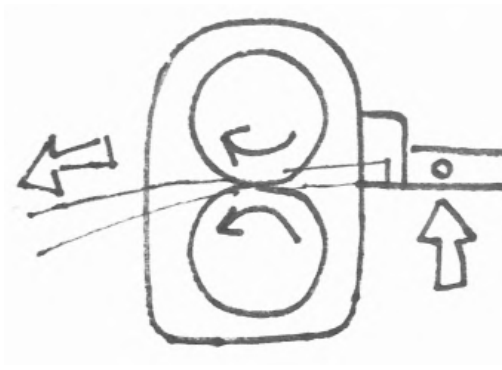
Retirada

La nueva marcha hace que los rodillos giren hacia afuera de la máquina, sacando la cáscara que ahora está con una mitad desfibrada. El delay se mantiene durante este tiempo, una vez la haya sacado vuelve a la posición anterior, es decir, cambia de marcha para girar hacia la máquina nuevamente.



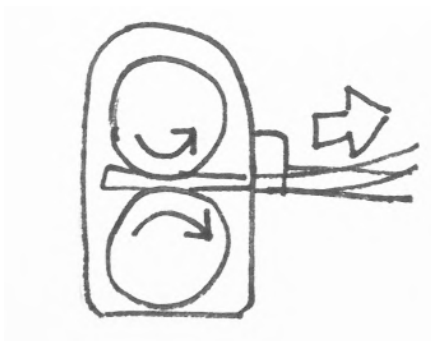
Volteo e inserción

El usuario coloca el extremo opuesto de la cáscara en la boquilla y lo empuja hacia los rodillos para que estos lo “agarren” y lo muevan hacia la máquina.



Sensor de proximidad

Mientras el segundo extremo de la cáscara se procesa, llega un punto en el que avanza suficiente como para que el sensor de proximidad detecte nuevamente que no hay un obstáculo, desencadenando la reacción que resulta en un cambio de marchas hacia afuera de la máquina.



Retirada

El cambio de marchas empieza a mover la cáscara/fibra en dirección opuesta, es decir, hacia afuera de la máquina.



¡Fibra procesada!

Una vez la fibra haya salido del sistema, el trabajador habrá procesado por completo la cáscara con muy poco esfuerzo físico y sin ningún peligro a su persona.

Etapas iii: Entregar

4.1 Estrategia de manufactura

Concepto de manufactura

El concepto de manufactura propuesto corresponde a “hecho por pedido”. En el país existe una cantidad muy limitada de máquinas deco, muchas están hechas por dos principales productores (Industrias Roli y Taller Chaqui), las diferentes iteraciones de la máquina tienen distintas dimensiones, potencias y morfologías. Estas variaciones entre modelos hace que sea necesario conocer las especificaciones de una máquina antes de manufacturar el sistema, lo cual deja como única opción viable la estrategia de “hecho por pedido”.

Proceso de manufactura propuesto

Actualmente los principales talleres productores de la máquina se especializan en metalurgia. Todo el cuerpo de la máquina está compuesto por metal (sin contar componentes estandarizados). La idea sería manufacturar el sistema estructural y de interacción y las camisas con aros en estos mismos talleres, tercerizar la manufactura de los rodillos y de la caja de cambios, comprar los componentes normalizados y realizar el ensamblaje en alguno de los talleres.

Al estar familiarizados con las necesidades del contexto podrían tener aportes valiosos sobre el proceso de manufactura; además su marca y reputación transmite confianza a las empresas que vayan a comprar el accesorio.

Manufactura de boquilla

1. Generar vectores de corte. Esta parte sería una única pieza rectangular con 4 agujeros para acoplar la boquilla. El lugar donde se hace un doblez recto lleva una línea de marcado, y se harían hacia los extremos de la pieza para que al soldarlos la soldadura quede por abajo.
2. Realizar el corte y marcado de las piezas con un Router CNC utilizando una broca apta para metal.
3. Realizar los redondeos de las dos esquinas superiores de la boquilla utilizando una roladora de lámina.
4. Plegar los dobleces rectos por la línea marcada por el router.
5. Soldar el lugar donde se unen los bordes de ambos perfiles.
6. Esmerilar la soldadura.

Manufactura de carcasa (inferior y superior)

1. Generar vectores de corte. Los perfiles de los costados de cada parte de la carcasa serían una pieza cada uno (4 en total, 2 por parte). Para la carcasa inferior, el conjunto frente-abajo-detrás sería una única pieza, que al cortarse se le hacen las ranuras de drenaje. La superficie superior de la carcasa superior sería una única pieza. Se cortan además dos piezas para acoplar la carcasa a la boquilla de la máquina, con dos agujeros cada una. También se cortan dos piezas rectangulares que serán las camisas ovaladas
2. Realizar el corte de las piezas con un Router CNC utilizando una broca apta para metal.
3. Realizar los redondeos de las piezas utilizando una roladora de lámina. La pieza frente-abajo-detrás lleva un radio de 20 mm, mientras que la carcasa superior lleva un radio de 56 mm. Las camisas llevan un radio de 30 mm.
4. Soldar las camisas ovaladas para cerrarlas.
5. Soldar las camisas ovaladas a los costados.
6. Soldar los costados con los perfiles doblados.
7. Soldar bisagras a las partes traseras de ambas partes.
8. Soldar la boquilla a la carcasa inferior
9. Pulir soldaduras.
10. Realizar el lacado.

Manufactura de bandeja

1. Generar vectores de corte. Esta parte sería una única pieza con una línea de marcado a cada lado para poder plegar lo que serán los costados de la bandeja y dos agujeros en cada costado para acoplarse a la boquilla.
2. Realizar el corte de las piezas con un Router CNC utilizando una broca apta para metal.
3. Plegar los costados.
4. Realizar el lacado.

Manufactura de 4 camisas con aro

1. Cortar 4 segmentos de 12 mm de tubo de acero.
2. Rectificar.
3. Retirar material para alcanzar un radio interior de 30 mm
4. Con una dobladora de tubos, doblar una varilla de acero de 3mm para formar un círculo de diámetro de 15 mm. Formar 2 círculos.
5. Cortar cada círculo por la mitad.
6. Soldar cada medio círculo en cada segmento de tubo

Ensamblaje

Sistema de sujeción

1. Insertar un rodamiento en cada camisa con aro.
2. Insertar un extremo de resorte en cada aro de camisa, teniendo 2 resortes con una camisa a cada extremo cada uno.
3. Insertar el rodamiento con camisa-resorte en cada extremo del eje del rodillo, formando el sistema de sujeción.

Sistema de sujeción-carcasa

4. Colocar un engranaje de 10 cm en el extremo derecho de cada eje de rodillo. Asegurar al eje.
5. Insertar un rodamiento en cada extremo del eje del rodillo inferior.
6. Insertar el sistema de sujeción en la carcasa, moviendo los rodamientos a un costado para que entre y volviendo a colocarlo en posición (calzado en la camisa) cuando ya entre.
7. Colocar una abrazadera como manera removible de restringir el desplazamiento del rodamiento.
8. Calzar una muñonera a cada lado del eje del rodillo superior.
9. Asegurar la muñonera a la carcasa con tornillos.
10. Asegurar cada muñonera al eje del rodillo superior.

Sistema de acople

11. Calzar la parte trasera de la carcasa con la boquilla, alineando los huecos.
12. Asegurar con tornillos y tuercas, colocando arandelas de hule entre ambas piezas en cada unión.
13. Calzar la bandeja con la parte delantera de la carcasa.
14. Asegurar con tornillos y tuercas, colocando arandelas de hule entre ambas piezas en cada unión.

Sistema mecánico

15. Calzar eje de rodillo superior con eje de output de la caja de cambios utilizando una camisa conectora.
16. Calzar polea de 4" con eje de input de la caja de cambios
17. Asegurar ambos ejes con un tornillo+tuerca atravesando cada extremo de cada eje.
18. Colocar y asegurar la nueva polea de 12" en el eje del barril.
19. Colocar la banda de transmisión entre ambas poleas
20. Colocar la cubierta de poleas.

Materiales

Carcasa	Lámina de acero galvanizado #16
Recubrimiento de rodillos	Caucho natural texturizado

Procesos y acabados

Corte de piezas	Router CNC
Realizar radios	Rolado de láminas
Plegado de láminas	Plegado manual
Acabado	Lacado color azul oscuro

Tipos de uniones

Uniones rígidas fijas

Uniones a presión:

- Camisas con rodamientos del Subsistema de cambio de marcha
- Rodamientos con ejes

Uniones soldadas:

- Construcción de la boquilla, bandeja, carcasa superior e inferior.
- Unión de camisas con carcasa
- Rodillos con eje
- Engranaje con eje de rodillo

Uniones con remaches:

- Bisagras con partes de la carcasa.

Uniones rígidas desmontables

Uniones atornilladas:

- Unión entre bandeja y boquilla
- Unión entre carcasa y boquilla de máquina
- Muñoneras con carcasa inferior

- Muñoneras con eje

Uniones con nachas vetadas:

- Poleas con ejes de giro
- Engranajes de giro restringido con eje

Uniones móviles

Uniones giratorias:

- Engranajes de giro libre con eje
- Eje selector con carcasa de Subsistema de cambio de marcha

Uniones deslizantes:

- Engranaje selector con eje de output
- Rodamientos con camisas ovaladas

4.2 Cálculo de costos

Sistema o subsistema	Ítem	Costo por unidad	Unids	Costo
Sistema estructural, sistema de interacción	Lámina de acero galvanizado #16*	¢53 700.00	1	¢53 700
Sistema estructural	Bisagra	¢2 400	2	¢4 800
Sistema de sujeción	Rodillo	¢70 000	2	¢140 000
Sistema de sujeción, sistema mecánico	Rodamiento	¢2 000	11	¢22 000
Sistema de sujeción	Resorte	¢1 125	2	¢2 250
General	Tornillos y tuercas	¢680/5u	4	¢2 720
Sistema electrónico	Sensor de proximidad	\$12,95	1	¢6 864
Sistema electrónico	Microcontrolado	\$8,50	1	¢4 505

	r			
Sistema electrónico	Batería	\$14,95	2	¢7 924
Sistema electrónico	Servomotor	\$27,50	1	¢14 577
Sistema mecánico	Caja de cambios	¢25 000	1	¢25 000
Sistema mecánico	Polea 12"	¢67 000	1	¢67 000
Sistema mecánico	Polea 4"	¢48 000	1	¢48 000
Sistema mecánico	Bandas de transmisión	¢17 000	2	¢34 000
Sistema mecánico	Engranajes 10cm	¢10 000	2	¢20 000
Coste total**				¢453 340

*Al momento de realizar el informe no se logró obtener una cotización de la carcasa o bandeja, por lo que en su lugar se incluye el costo del material. La cotización seguramente será mayor debido a que incluye mano de obra.

**El único ítem que contempla mano de obra/equipo es el rodillo, los demás abarcan únicamente el material, por lo que el estimado seguramente es menor al costo real.

El costo en colones de ítemes que se venden en dólares se calculó con un valor de ¢530, al 21 de noviembre del 2023.

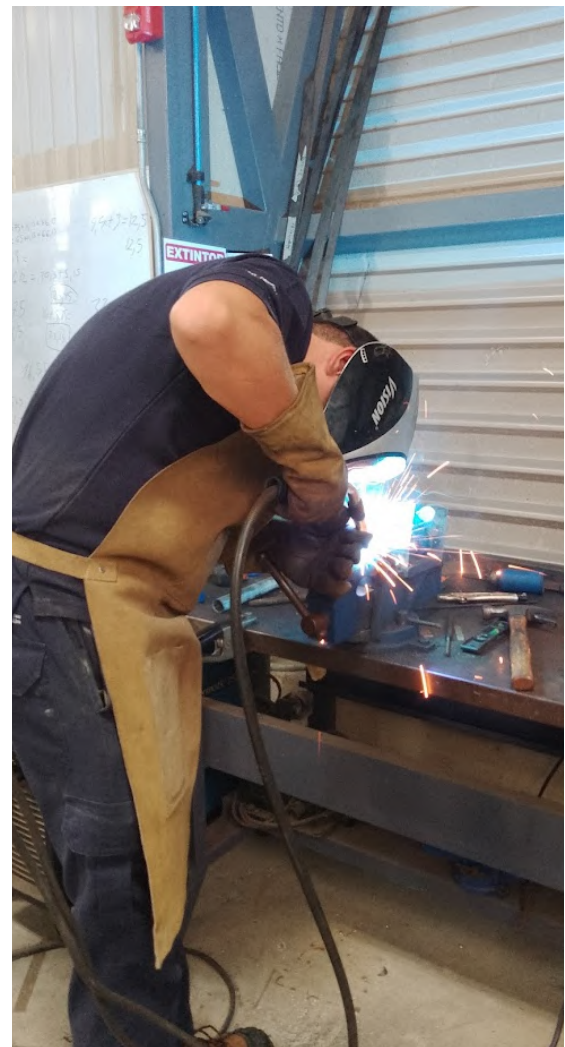
4.3 Prototipado

Desde el 04 de noviembre hasta el 17 del mismo mes se realizó un prototipo funcional de la propuesta en el taller de la Escuela de Diseño Industrial. Para la realización de este se contó con tanto materiales aportados por el CIF [Ver Anexo 20] como con materiales del taller. Además se contó con la asistencia constante del técnico electromecánico del taller Danilo Solano y la ayuda de asistentes del taller.

Se realizaron dos componentes principales: la carcasa junto con la bandeja, y la caja de cambios. Se había planificado unificarlas para simular toda la funcionalidad, pero al momento de redactar este informe no se había realizado aún. El conjunto carcasa+bandeja permitió realizar las primeras verificaciones con usuarios, las cuales se detallan en la sección 4.4. La caja de cambios permitió probar la funcionalidad del eje selector propuesto, y su funcionamiento con el servo.

Cambios para prototipado

- El sistema de sujeción no posee las camisas con aros ya que el resorte de extensión fue una improvisación que resultó muy efectiva, al momento de hacerlo no se había siquiera planteado las camisas con aros.
- Se eliminaron las curvaturas de la carcasa ya que el taller no cuenta con equipo adecuado para realizarlas, Además, se unificaron las dos partes que componen la carcasa y se retiró la pared trasera del todo. Esto con el propósito de que el tribunal evaluador pueda observar el sistema planteado en acción.
- No se incorpora el sistema mecánico en absoluto, el movimiento rotacional es generado por una palanca manual.
- La morfología de la boquilla fue modificada a modo de exploración formal, sin embargo este cambio no pasó al diseño final.



Proceso de manufactura del prototipo

Sistema de compresión

- Se cortaron dos trozos de aproximadamente 28 cm de viga de madera cuadrada de 10x10cm con una sierra circular.
- Se aseguraron al eje de giro del torno, donde se les desabasto el material de las esquinas hasta tener un cilindro uniforme de 9,7 cm de diámetro.
- Se cortó en borde que estaba asegurado al eje, resultando en un cilindro de 24 cm.
- Se cortaron dos rectángulos de lámina de hule de 3 mm .
- Se aplicó una capa de cemento de contacto a cada cilindro y a un lado de cada rectángulo de hule. Se esperó a que secara y después se juntaron, recubriendo el cilindro con el hule.
- Con el torno de precisión se les hizo un agujero a cada lado del mismo ancho de la varilla que se iba a usar de eje.
- Se insertó la varilla a presión, martillando para que tocara el fondo.
- Se recortó la varilla, dejando 10 cm de varilla a cada lado del rodillo.
- Se colocó un resorte de extensión con un agarre en cada eje, sosteniéndose juntos con presión.
- Se soldaron rodamientos a 5 cm del borde del rodillo en ambos lados y ambos rodillos
- De un lado se recortaron los ejes donde terminan los rodamientos.

Sistema estructural y de interacción

- Se midieron y marcaron todas las piezas necesarias.
- Se cortaron usando una esmeriladora con disco de corte.
- Se cortaron, rectificaron y desbastaron piezas de 1.2 cm de alto y 3,4 de diametro interior.
- Se soldaron estas piezas a los costados de la carcasa. En uno de los costados se realizaron agujeros de diámetro mayor al del eje utilizando una sierra de perforación en un taladro de mesa.
- Se soldaron juntas las partes que componen tanto la boquilla como la bandeja. Se soldó la boquilla con la pared frontal de la carcasa
- Se colocó el sistema de compresión entre los costados de la carcasa, insertando los rodamientos en las camisas a presión.
- Se soldaron las piezas superior e inferior con la pieza frontal de la carcasa.
- Se soldó esta pieza a los costados.
- Se esmerilan las soldaduras y la superficie en general, colocando aceite al finalizar para prevenir la herrumbre.
- Se insertó la bandeja en la boquilla. Se unieron con tornillos frijolin usando un taladro.



Fig 11. Collage del proceso de manufactura del prototipo.

4.4 Verificaciones con usuarios

El día 17 de noviembre se realizaron 5 pruebas de usuario con estudiantes de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial como *testers*. El objetivo de estas pruebas fue evaluar si usuarios que nunca antes hubieran interactuado con una máquina desfibradora comprenden los puntos de interacción, de manera que se pueda evaluar si la interfaz explica su función mediante su morfología. Además, se quiso evaluar la seguridad percibida por los usuarios y el esfuerzo físico que debieron realizar.

La prueba consistió en una sección de interacción con el prototipo. A partir de la segunda prueba se les empezó a dar una contextualización sobre el producto que estaban usando, ya que se generó algo de confusión sobre la ubicación espacial del producto con respecto a la máquina. Al nunca haber siquiera visto una máquina desfibradora fue difícil que los usuarios comprendieran qué áreas el producto no eran interactivables ya que únicamente estaban expuestas para propósitos de la maqueta. Además, al únicamente simular la función de los rodillos los usuarios sintieron confusión porque no recibían ningún tipo de respuesta como la que se recibiría con el producto 100% funcional (la parte que insertaron desfibrada).

Para alcanzar un mayor nivel de confianza en la propuesta será necesario repetir la prueba de usuario cambiando el diseño de la prueba. Empezando por la selección de usuario, 4 de 5 de los usuarios seleccionados para esta ronda de pruebas nunca habían oído hablar del abacá, lo cual es una diferencia enorme con los usuarios reales del producto, quienes ya saben qué es el abacá e incluso han trabajado desfibrando. Siguiendo por la maqueta en sí, sería necesario alcanzar un mayor nivel de funcionalidad puesto a que la presencia de una manija operada por el diseñador para simular el movimiento que generaría la polea creaba confusión, cuando ese elemento no existe dentro de la propuesta de diseño. Además, la respuesta que daría el sensor de proximidad no estaba implementada, por lo que el tiempo e inputs de respuesta no eran los mismos, impidiendo que se compruebe verdaderamente la interacción.

A pesar de las dificultades experimentadas, se obtuvieron resultados positivos [Ver anexo 22]:

- El 100% de los usuarios indicó que la interacción requirió poco esfuerzo físico.
- La seguridad percibida de la nueva interfaz obtuvo una evaluación promedio de 7.4/10, mientras que la seguridad percibida de la interfaz anterior recibió un promedio de 5/10.
- A pesar de que 4/5 usuarios no sabían qué era el abacá, la facilidad de comprensión de la interacción recibió una calificación promedio de 7.2/10.

Las principales confusiones eran generadas por la estructura de la maqueta en sí, no por la interfaz.

Para volver a realizar la prueba recomendaría realizar una maqueta que simule únicamente la interacción, controlando la rotación de los rodillos con servomotores para mayor facilidad de simulación. Esto permitiría que los usuarios puedan experimentar verdaderamente la interacción que se propone y poder hacer una correcta evaluación sin las distracciones que generan los defectos de la maqueta actual.

4.5 Factores Críticos de Diseño

Es importante aclarar que el trabajo de diseño realizado hasta el momento es únicamente una fracción del trabajo que debe ser realizado para generar una mejora tangible en la calidad de vida de los trabajadores que laboran desfibrando abacá. Si bien la interacción y arquitectura de la propuesta es una parte crucial para asegurar que la modificación sea aceptada por los trabajadores, el proyecto cuenta con una parte técnica que es igual de importante para garantizar el éxito de la solución.

Esta parte técnica del proyecto se refiere a la implementación electromecánica de los sistemas planteados e influencia principalmente los sistemas electrónicos, mecánicos y de sujeción de la propuesta. El sistema electromecánico mostrado en el presente proyecto es provisional y no pretende ser la solución definitiva ya que el diseñador no tiene experiencia ni conocimiento profundo en el planteo de sistemas electromecánicos.

Como parte de la investigación realizada, se identificaron ciertos Factores Críticos de Diseño (CDF por sus siglas en inglés) que el sistema debe cumplir para su adecuado funcionamiento. Estos valores servirán como insumo para el desarrollo de sistemas electromecánicos por parte de profesionales o estudiantes con conocimiento en esta área, a modo de requerimientos del sistema.

Factor de diseño	Indicador
Velocidad de los rodillos (Ver anexo 21)	Valor mínimo recomendado: 1.20 m/s ó 255 RPM (para rodillos de diámetro de 9cm) Valor óptimo: 1.60 m/s ó 340 RPM (para rodillos de diámetro de 9cm) Valor máximo recomendado: 2.00 m/s ó 425 RPM (para rodillos de diámetro de 9cm)
Apertura de los rodillos	En reposo: 0 mm Apertura máxima: 5 mm
Fuerza generada por la máquina (Ver anexo 2)	Aproximadamente 8.5 N/cm Ej. Fuerza máxima por superar: 211 N/cm con una boquilla de 250 mm Ej. Fuerza aplicada por la máquina en una cáscara de 80 mm de ancho: 68 N

4.6 Conclusiones y recomendaciones

Investigación de usuarios y contexto

La investigación de campo realizada se dió únicamente en la provincia de Limón. Si bien esta es de las mayores zonas productoras de abacá en el país, no es la única. Los cantones de Golfito en Puntarenas y Sarapiquí en Heredia también son grandes centros de producción de esta fibra. Inclusive dentro de la misma provincia de Limón hay productores que se ubican en zonas muy remotas. Todos estos son usuarios potenciales del producto cuyas necesidades no fueron investigadas durante la realización del proyecto.

La investigación se habría visto enriquecida con giras a fincas ubicadas en diferentes regiones del país, y con entrevistas a trabajadores y productores con una mayor variedad de condiciones de vida. Puesto que tanto el diseñador como los asesores del proyecto son personas oriundas de la Gran Área Metropolitana, sería muy positivo y valioso recibir otros puntos de vista para lograr una interacción ampliamente comprensible, al menos a nivel país. Además, un desarrollo de productos participativo resulta en productos más aceptados por las poblaciones que colaboraron en su creación.

Otro factor que sería importante profundizar con más investigación es el desarrollo de la actividad con la otra empresa exportadora, Glatfelter. Durante la investigación del presente trabajo se interactuó únicamente con empleados de la empresa Nippon Paper, por lo que sería valioso descubrir si la empresa Glatfelter tiene las mismas dinámicas con los productores.

Estructura de la propuesta

La maqueta funcional permitió comprobar que el sistema de sujeción con el resorte de extensión genera un excelente agarre de la cáscara y al mismo tiempo permite su movilización efectiva. En la implementación electromecánica se podría usar un material como el caucho texturizado propuesto en la maqueta digital y un resorte con una constante de rigidez mayor para generar un agarre más fuerte que no permita que la cáscara sea “tragada” por la máquina. Las camisas ovaladas del sistema estructural también demostraron ser apropiadas para restringir el movimiento del rodillo inferior. Se pudo comprobar que el subsistema de control de marchas planteado funciona de manera muy efectiva y permite realizar un cambio de marchas sin necesidad de detener el movimiento de ninguno de los ejes.

Estrategia de manufactura

Para detallar mejor la estrategia de manufactura sería muy valioso documentar los modelos de máquinas “deco” que hay presentes en el país, sus fabricantes, sus dueños, así como sus potencias y dimensiones. Esta documentación se podría utilizar para la elección de proveedores a conveniencia de los productores o empresas dueñas de máquinas según su ubicación, así como para estimar la escala de producción que podría llegar a tener el producto. Además, sería un aporte a la generación de conocimiento sobre el tema del desfibrado del abacá en Costa Rica ya que actualmente hay poca investigación sobre la extracción de la fibra, lo cual dificulta el desarrollo de proyectos que busquen realizar innovaciones en el tema.

Validaciones con usuarios

Como se mencionó en la sección 4.4, sería recomendable realizar una maqueta que simule la interacción con una alta fidelidad y realizar más pruebas de usuarios. La maqueta que ya se desarrolló simula los sistemas funcionales con alta fidelidad, pero por el momento no es apropiada para simular la interacción. Para realizar validaciones con usuarios sobre la interacción propuesta que den resultados verdaderamente significativos es indispensable que el usuario pueda experimentar la interfaz y respuesta verdadera que recibiría del producto diseñado.

Otro factor previamente mencionado es la elección de usuarios, ya que sería ideal hacerlo con personas que tengan algún conocimiento sobre la actividad productiva del abacá, ya que los usuarios reales del producto siempre tienen un acercamiento al proceso de extracción antes de empezar a practicarlo ellos mismos.

Un factor que se debe considerar también es el comportamiento del abacá en sí. Al desfibrarla pasa de ser una estructura recta y rígida a una fibra suave y sin estructura. Este comportamiento tiene una influencia en cómo los trabajadores interactúan con ella, por lo que sería muy valioso realizar las pruebas tomando en cuenta el cambio de estructura del abacá.

CDFs

Para obtener datos más certeros, recomendaría volver a realizar el experimento que permitió obtener el tercer Factor de Diseño (anexo 2). El experimento se hizo con una única variedad de abacá, aunque las características de la fibra cambian entre variedades. El tamaño de muestra era muy pequeño, y la medición se hizo

con un instrumento impreciso y de baja calidad, por lo que los resultados obtenidos no tienen mucha validez científica. Recomendaría tomar al menos 10 muestras de cada variedad de abacá, medir la fuerza de resistencia con un dinamómetro y probar máquinas desfibradoras con diferentes potencias para trazar una relación entre los caballos de fuerza de un motor con el esfuerzo requerido para extraer la fibra.

Anexos

Anexo 1: Cuestionario hecho a empresa Nippon Paper y preguntas de entrevista a trabajadores y respuestas.

Preguntas

Ergonomía

1. ¿Conoce usted algún caso de trabajadores que hayan desarrollado alguna lesión, inflamación o molestia general correlacionada a su interacción con la máquina desfibadora tipo “deco”? Particularmente aquellas presentes en: espalda, hombros, codos, muñecas o manos.
2. Mientras se está en periodo de cosecha y procesamiento, ¿cuánto duran las jornadas de trabajo de los trabajadores? ¿Aproximadamente, cuánto de este tiempo involucra interacción directa con la máquina?
3. ¿Durante la jornada de trabajo los trabajadores toman descansos? ¿Cuántos y qué tan largos aproximadamente? ¿Cómo describiría el ritmo de trabajo: intenso, regular o relajado?
4. ¿Cuánta importancia se le da a la seguridad laboral en el campo de producción? ¿Se prioriza sobre el rendimiento y la productividad?

Procesamiento

5. ¿Por qué se utilizan más ampliamente las máquinas tipo “deco” sobre el tipo “spindle”?
6. En el periodo de producción, ¿Aproximadamente cuántos kg de materia prima se procesan diariamente? ¿En promedio cuántos kg puede procesar un solo trabajador por día? Si desea, también puede indicar la cantidad de fibra producida, igualmente es un dato relevante.

Economía

7. ¿Cuánto cuesta una máquina desfibadora tipo “deco”? ¿Cuánta vida útil tiene?
8. ¿Por lo general la máquina pertenece a una persona productora, o son propiedad de cooperativas de productores? De ser este último el caso, ¿sobre quién recaen los costos de reparaciones?
9. ¿Cuál es el costo de producir 1kg de abacá? ¿Cuánto de este costo corresponde a la etapa de desfibrado? Ya sea el monto o bien el porcentaje aproximado. ¿A cuánto lo compran las empresas externas?

Respuestas

Una cuadrilla de cosecha se componen entre 2 o 3 personas. Las cuales todos utilizan la maquina para turnarse en el uso.

Ergonomía

1. Con respecto al uso de la maquina desfibradora se han encontrado las siguientes molestias o accidentes:
 - El trabajador al ser nuevo presenta adoloridas las manos después de utilizar las maquina
 - Por la manipulación de la maquina se pueden presentar accidentes con las manos al introducir los dedos en la boca de entrada de la fibra. Lugar donde no se debe colocar las manos
 - Al momento de mover la maquina se pueden dar caídas o resbalonazos.
 - Por el liquido que sale del tallo este suele quemar la piel en caso que el operario tenga piel sensible

2. En tiempo de cosecha y procesamiento de la fibra las jornadas son normalmente de 8 horas con un rendimiento que se puede categorizar según la experiencia de los operadores:
 - Rendimiento bajo cuadrilla de 3 personas : 40 kg
 - Rendimiento normal cuadrilla de 3 personas : 60 kg
 - Rendimiento alto cuadrilla de 3 personas : 100 kg

(Esto involucra labores como corta de tallos, descascarado, preparación del material uso de las maquina desfibradora, tendido de la fibra para secar y recoger la fibra

El uso de la maquina dentro de la jornada de 8 horas puede rondar entre 5 a 6 horas de uso por jornada.

3. El ritmo de trabajo para esta labor se considera como intenso debido que la mayoría de veces los trabajadores deben quedarse hospedarse directamente en la finca donde se encuentra la plantación de abacá considerando trabajar bajo el sol y lluvia.

Usualmente los trabajadores toman los descanso y tiempos para la comida, así mismo para hidratación.

4. Es de suma importancia la seguridad laboral en cuanto que la empresa suministra a los operarios el equipo necesario para la labor de cosecha. Así mismo se está en constante seguimiento del personal para capacitar cada vez que sea necesario.

Si bien los operarios pueden ganar más dinero si tienen buena productividad se busca que tengan un máximo para evitar lesiones o accidentes.

Procesamiento

5. Actualmente en Costa Rica únicamente se utilizan las maquinas deco esto debido a su versatilidad para llevarlas a las fincas y poder moverlas en el campo para la labor de cosecha, no obstante la calidad de fibra con la maquina Spindle es superior.

La maquina Spindle requiere de un punto central en la finca y grandes extensiones para su uso no obstante en Costa Rica mayormente son fincas de pequeñas a medias siendo 1 o 2 hectáreas lo que mas hay.

6. Durante la cosecha se tiene los siguientes datos :

- Rendimiento bajo cuadrilla de 3 personas : 40 kg
 - Rendimiento normal cuadrilla de 3 personas : 60 kg
 - Rendimiento alto cuadrilla de 3 personas : 100 kg
- (kilogramos de fibra seca)

Un solo trabajador puede procesar de 20 a 40 kg con experiencia

7. Una maquina tipo deco ronda los 2 millones de colones sin IVA dato de Agosto 2023.

La maquina al tener varias piezas de quitar y poner tiene una vida útil variada.

El caparazon se puede utilizar por más de 5 años dándole buen mantenimiento y pintura. El motor puede tener una duración de 2 años dependiendo del cuidado.

Piezas con cuchillas, barra, muñoneras y bocinas requieren cambio cada año.

Fajas tardan unos 6 meses y aceite de cambia cada 50 horas de uso

8. En fincas pequeñas la maquina la presta la empresa Nippon Paper, en fincas de más de 5 ha cada productor debe tener su propia maquina, para esto la empresa puede financiar la máquina entregándosela al productor y comenzar a descontar de la fibra producida.

Las maquinas propias de los productores son de responsabilidad de cada productor el mantenimiento y las reparaciones.

9. La empresa paga el kilogramo de fibra de la siguiente manera

Primera calidad: \$1.80

Segunda calidad: \$1.55

La empresa en caso de enviar cuadrilla a la finca por labor de desfibrado cobra \$ 0.8 dólar de esta forma la productor le queda:

Primera calidad: \$1

Segunda calidad: \$0.75

Anexo 2: Cálculos de fuerzas de la máquina.

Con datos obtenidos en la segunda gira. Los Kg medidos fueron cuantificados utilizando una báscula colgante.

Se tomó una cáscara al azar y se desfibró hasta la mitad. Esa mitad se amarró a la báscula, mientras que el otro extremo se insertó a la máquina. Después se documentó el dato presentado por la báscula al realizar el esfuerzo de sacar la fibra de la máquina.

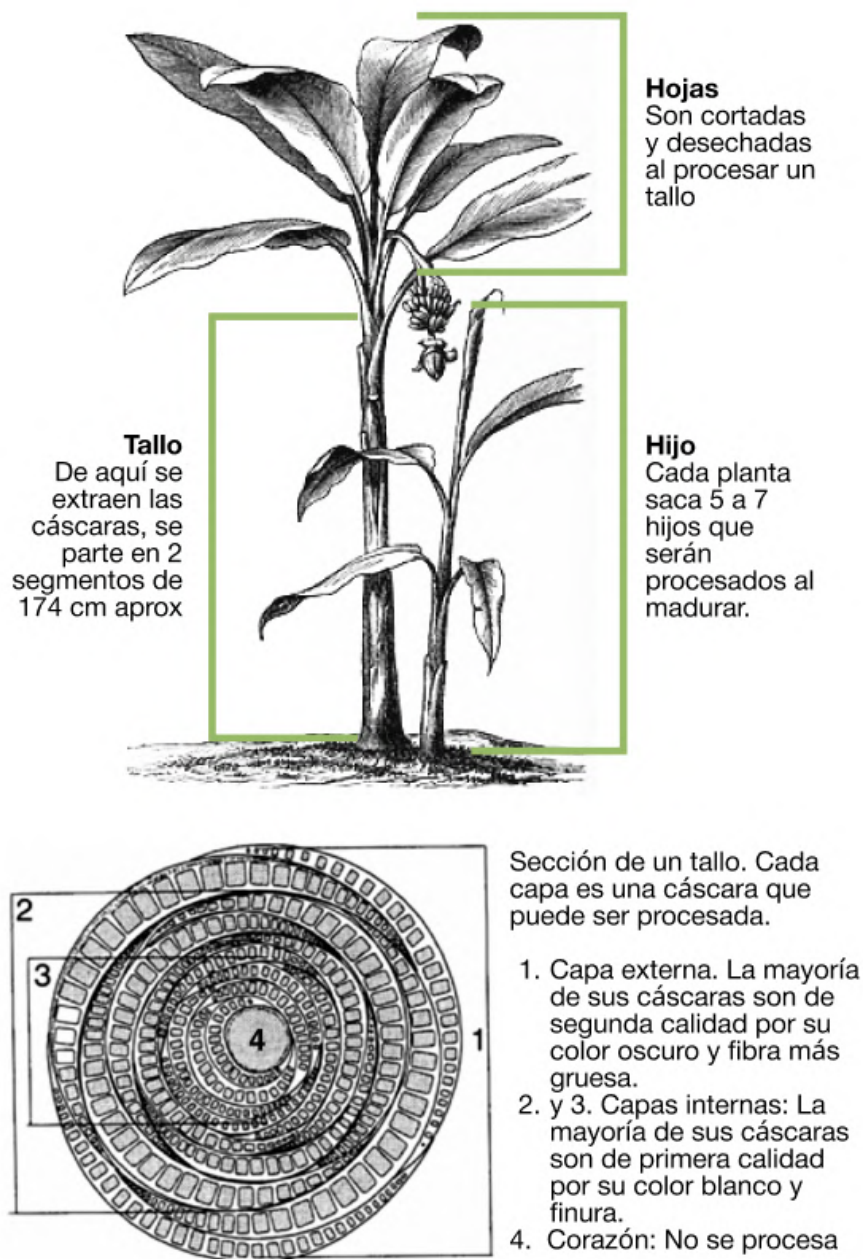
Sólo se pudieron realizar 3 mediciones porque durante la medición #4 la fuerza generada por la máquina superó la capacidad de la báscula, rompiéndola.

Fuerzas - Tallos abacá									
Prueba	Acho de cáscara	Kg medidos	Newtons	Kg/cm	N/cm	N/cm + 15%	Fuerza a superar	Fuerza + extra 15%	En N/m
1	8.00	6.00	58.86	0.75	7.36	8.46	183.94	211.53	2.12
2	9.00	4.00	39.24	0.44	4.36	5.01	104.64	120.34	1.20
3	11.00	8.00	78.48	0.73	7.13	8.20	171.23	196.91	1.97

Fuerzas - Tallos abacá					
Prueba	Acho de cáscara	Kg medidos	Newtons	Kg/cm	
1	8.00	6.00	58.86	0.75	
2	9.00	4.00	39.24	0.44	
3	11.00	8.00	78.48	0.73	

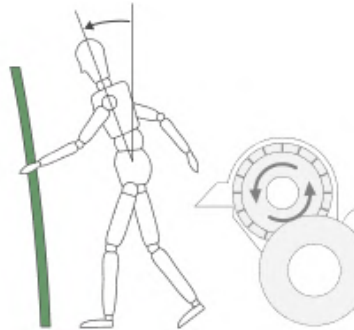
	N/cm	N/cm + 15%	Fuerza a superar	Fuerza + extra 15%	En N/m
	7.36	8.46	183.94	211.53	2.12
	4.36	5.01	104.64	120.34	1.20
	7.13	8.20	171.23	196.91	1.97

Anexo 3: Partes de una planta de abacá.



Anexo 4: Análisis ergonómico

1. Tomar pseudotallo

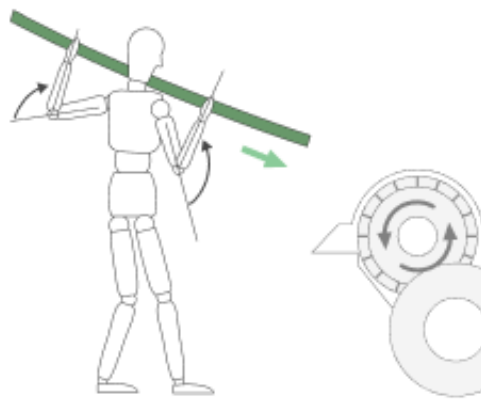


El trabajador viendo hacia el frente o ligeramente hacia un costado toma una cáscara de abacá, ya sea de su compañero o de la pila de cáscaras. Lo hace extendiendo los brazos.

Riesgo ocupacional: 0

Esfuerzo físico: 0

2. Posicionar para inserción

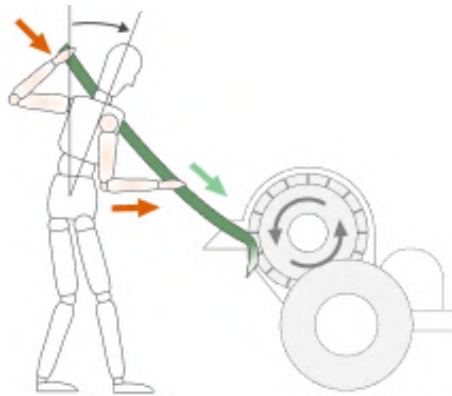


El trabajador posiciona la cáscara para insertarla. Debe tener cierta precisión porque el agujero de la boquilla no es muy amplio y no hay mucha superficie sobre la cual apoyarla para facilitar su inserción, sin embargo la cáscara es muy ligera y por ende gobernable.

Riesgo ocupacional: 0

Esfuerzo físico: 1

3. Inserción primaria

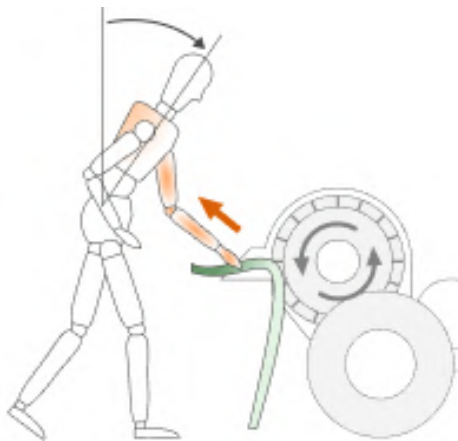


El trabajador empuja la cáscara hacia adentro de la máquina. Entra con facilidad porque va en la misma dirección que la rotación del barril. En esta etapa las aspas del barril machacan la cáscara, rompiendo las estructuras que envuelven la fibra. Como el barril genera una fuerza que jala la cáscara a su interior, el trabajador debe empezar a generar un agarre de fuerza, apretando su puño; usualmente el de su mano dominante la cual coloca al final de la fibra.

Riesgo ocupacional: 0

Esfuerzo físico: 2

4. Empuje primario

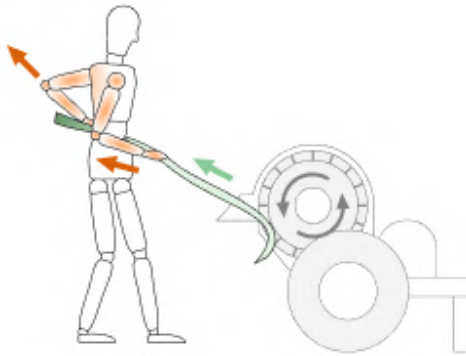


Inserta más de la mitad de la cáscara en la máquina. Para evitar que la máquina se “trague” la cáscara debe mantener un agarre de fuerza, manteniendo el puño apretado. Además, debe generar una fuerza de resistencia con sus brazos que iguale la fuerza que aplica la máquina sobre la fibra.

Riesgo ocupacional: 0

Esfuerzo físico: 6

5. Retirada primaria



Manteniendo un agarre fuerte con el puño tallado en la cáscara, el trabajador genera una fuerza en dirección contraria a la máquina que supere la fuerza que esta aplica sobre la fibra. Generan la fuerza para sacarla con sus brazos, mientras que la fricción generada por su agarre previene que la máquina se “trague” la cáscara.

La cantidad de fuerza que debe aplicar va en función al ancho de la cáscara. Los segmentos de cáscara

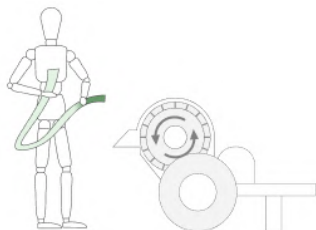
delgados tienen poca área de contacto, por lo que la máquina no aplica tanta fuerza sobre ellos. Los trabajadores pueden procesar 2 o 3 segmentos delgados en una sola pasada. En cambio, los segmentos de cáscara anchos tienen mucha área de contacto, de manera que la máquina aplica más fuerza sobre ellas, haciendo que requiera más esfuerzo por parte del trabajador para superar la fuerza de la máquina. Esto hace imposible que procesen más de un segmento ancho a la vez, puesto a que requeriría que el trabajador genere demasiada fuerza.

En lo que respecta al desfibrado, en esta etapa se da el raspado del bagazo que fue machacado al entrar, resultando en la fibra limpia.

Riesgo ocupacional: 0

Esfuerzo físico: 9

6. Volteado

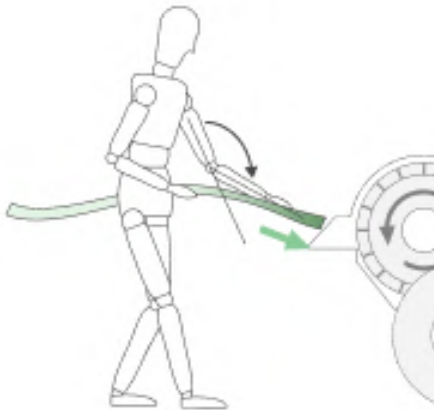


Implica intercambiar de mano el extremo sólido de la hoja a medio desfibrar.

Riesgo ocupacional: 0

Esfuerzo físico: 0

7. Inserción secundaria



Implica insertar el extremo que aún no ha sido procesado a la máquina. Para mantener un agarre en la fibra, los trabajadores tienen métodos para arrollarse la fibra entre la mano. Al estar húmeda, es más difícil mantener un agarre fuerte con la mano, lo que los empuja a buscar métodos inseguros de agarre que los dejan propensos a quemaduras de fricción o a presión fuerte en las manos.

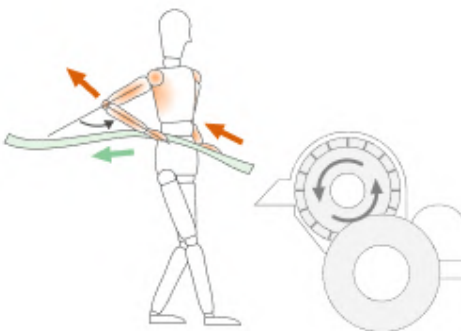
Actualmente, los trabajadores procesan un 70-80% de la hoja en

la primera pasada, por lo que el trozo sólido restante es bastante pequeño. Esto obliga a que el trabajador tenga que acercar su mano a la boquilla para empujar la cáscara hacia el interior. Durante este acercamiento avanza la mano con impulso, en ocasiones esto ha llevado a que metan la mano y que las puntas de sus dedos hagan contacto con el barril mientras gira a muy altas velocidades, dándole al trabajador un gran susto. Hasta el momento no hay reportes de que algún trabajador haya sufrido heridas graves debido a esto, sin embargo se debe evitar a toda costa que los trabajadores tengan contacto con partes móviles de una máquina por el riesgo que estas suponen. Solo porque no haya sucedido todavía no significa que no sea un peligro en potencia.

Riesgo ocupacional: 8

Esfuerzo físico: 0

8. Retirada secundaria



El trabajador saca la fibra de la misma manera que lo hizo anteriormente, inmediatamente colocándola en el puesto de trabajo designado para fibra. Ya que el trozo que procesó es menor en longitud, requiere menos esfuerzo físico.

Riesgo ocupacional: 0

Esfuerzo físico: 4

Anexo 5: Análisis de lo existente

Como parte de la investigación documental se investigaron diversos métodos de extraer fibras de una planta, enfocándose en métodos de extracción de abacá pero ampliando al cáñamo, la linaza y el agave. Se analizó el principio de funcionamiento de cada uno, la interacción con el usuario y cómo el método se acopla al contexto nacional.

1. Desfibrado de abacá manual



Principio de funcionamiento:

Consiste en el raspado de una lámina delgada extraída de la cáscara del abacá, utilizando un cuchillo serrado presionado contra una superficie sólida que al rozar la lámina en movimiento remueve los tejidos vasculares débiles, dejando únicamente la fibra.

Interacción:

El trabajador levanta la cuchilla para colocar el tuxy [Ver anexo 3] entre ella y el bloque. La asegura en su lugar y procede a tirar de ella, realizando el raspado.

Aspectos Positivos:

Es un sistema fácil y barato de recrear.

Es un proceso lento y laborioso, lo que hace que no sea rentable. Además, la calidad de la fibra resultante es poco consistente.

Aspectos Negativos:

2. Desfibrado de agave manual



Principio de funcionamiento:

Consiste de 2 etapas. Inicia con el aplastamiento de la hoja utilizando un bloque de madera que distribuye la aplicación de la fuerza aplicada por un martillo. Esto rompe y suaviza el tejido vascular. Este proceso es necesario en este método porque no es posible realizar el tuxeado de una hoja de agave, su estructura es diferente a la de el abacá. Siguiendo, sujeta firmemente la hoja machacada en una superficie plana y la raspa de arriba hacia abajo repetidas veces para remover los tejidos vasculares y limpiar la fibra.

Interacción:

El trabajador machaca y raspa la hoja utilizando solo herramientas manuales, por lo que requiere bastante esfuerzo físico de parte suya.

Aspectos Positivos:

Es un sistema fácil y barato de recrear.

Aspectos Negativos:

Es un proceso lento y laborioso, lo que hace que no sea rentable.

3. Partidor de linaza



Principio de funcionamiento:

Consiste en presionar múltiples tallos de linaza entre dos piezas de madera. Las piezas calzan entre ellas por el principio de forma-contriforma. Al calzar machacan los tejidos vasculares de la linaza en segmentos pequeños, facilitando la extracción de su fibra.

Interacción:

El trabajador levanta la manija conectada a la placa superior repetidas veces mientras mueve el manojo de linaza hacia adelante y hacia atrás hasta cubrir la totalidad del manojo.

Aspectos Positivos:

Es un sistema fácil y barato de recrear. Muestra una manera de realizar el machacado de los tejidos vasculares de la fibra.

Aspectos Negativos:

Únicamente abarca una etapa del proceso de extracción de la fibra. La linaza después necesita ser remojada para extraer la fibra. Este proceso únicamente facilita la extracción.

4. Desfibrado con máquina “spindle”



Principio de funcionamiento:

Consiste en el raspado de una lámina delgada extraída de la cáscara del abacá, utilizando una cuchilla serrada presionado contra una superficie sólida que al rozar la lámina en movimiento remueve los tejidos vasculares débiles, dejando únicamente la fibra. Es el mismo principio de funcionamiento que la extracción manual.

Interacción:

A diferencia de la extracción manual, el trabajador tiene a su disposición un husillo giratorio que puede utilizar para enredar la fibra o el tuxy. Al enredarlo, este gira en dirección opuesta a la cuchilla, jalando la fibra hacia afuera, raspándola en el proceso. La adición del husillo reduce muchísimo el esfuerzo que el trabajador realiza jalando la fibra.

Aspectos Positivos:

Resulta en la mejor calidad de fibra posible, lo cual implica mayores ganancias para los productores.

Aspectos Negativos:

Requiere de un punto centralizado en la finca. Esto únicamente sería rentable en fincas grandes, de las cuales hay muy pocas a nivel nacional. Solo puede ser operada por trabajadores capacitados, los cuales no hay dentro del país. Además, en Ecuador hay una incidencia considerable de accidentes graves relacionados a la interacción con esta máquina.

5. Desfibrado con máquina “deco”



Principio de funcionamiento:

Consiste en un barril metálico que gira con un motor. Al transportarse en la misma dirección del barril, la hoja es machacada entre las aspas del barril y una platina. Al moverse en dirección contraria, los tejidos vasculares de la hoja son raspados, dejando únicamente la distancia entre las aspas y la platina (0,4 a 0,5 mm), grosor aproximado de una fibra.

Interacción:

El trabajador inserta y saca un 70% a 80% de la longitud de la hoja, la voltea y repite con el segmento restante. Se explicó a mayor detalle en la sección 2.3.

Aspectos Positivos:

Muy apta para el transporte de finca a finca, ideal para el contexto nacional. No se necesita hacer el proceso de “tuxeadó” para procesar las hojas, basta con cortarlas longitudinalmente y separar las cáscaras.

Aspectos Negativos:

La calidad de fibra que produce es inferior a la obtenida usando una Spindle. La interacción con la máquina es laboriosa y presenta un riesgo ocupacional, lo cual aumenta el costo de la extracción, reduciendo directamente las ganancias de los productores.

6. Decorticator de cáñamo



Principio de funcionamiento:

La máquina aplasta entre dos barriles con aspas oblicuas el tallo de cáñamo, machacando su estructura interna para después separarlo de la parte exterior con la fibra aprovechable mediante remojo o irrigación.

Interacción:

El trabajador debe insertar el o los tallos a la boquilla y los suelta. El movimiento de los barriles transporta los tallos hacia el extremo opuesto de la máquina, aplastándolos en el proceso. Salen con impulso de manera que quedan colgados en la barra posterior de la máquina, donde se pueden acumular varios tallos antes de tener que moverlos.

Aspectos Positivos:

La interacción está mucho más simplificada que en la decorticatora convencional, requiere mucho menos esfuerzo y presenta un menor riesgo ocupacional. Tiene la capacidad de procesar varios tallos a la vez. Es apta para ser transportada.

Aspectos Negativos:

No se fabrica a nivel nacional. El funcionamiento no es apto para la extracción de la fibra de abacá debido a que únicamente aplasta la pulpa, no realiza el raspado necesario para limpiar la fibra porque únicamente se hace una “pasada”.

7. Máquina “deco” automática



Principio de funcionamiento:

Consiste en una plataforma de inserción, donde las cáscaras de abacá caen a un sistema decorticator. Al salir llegan a una banda transportadora que las mueve hasta una rueda que las cuelga sobre una barra, similar a la decorticatora de cáñamo.

Interacción:

Los trabajadores colocan las cáscaras sobre la plataforma superior, amontonadas. La máquina procesa las cáscaras y estas salen desfibradas a la banda transportadora inferior, terminando colgadas, listas para su recolección y reubicación para secado.

Aspectos Positivos

Aumenta significativamente el rendimiento de una producción, al mismo tiempo que reduce el costo de la mano de obra. Además, logra eliminar cualquier riesgo ocupacional relacionado a la interacción con la máquina, pues el trabajador no tiene que acercarse su mano a una parte móvil.

Aspectos Negativos

La máquina cuesta entre ₡4 000 000 y ₡8 000 000, además del transporte e impuestos. Está diseñada para un volumen de producción mucho mayor al que produce Costa Rica. No es transportable, está diseñada para estar estática en un puesto de procesamiento, pero a nivel nacional las máquinas utilizadas están en constante movimiento entre fincas, la transportabilidad es un factor imprescindible para el contexto actual.

Anexo 6: Lista de requerimientos al día 11 de septiembre de 2023.

Requisitos del producto

Los análisis presentados anteriormente, junto a investigación y análisis no presentado en este resumen ejecutivo, se sintetizan en la siguiente lista de requisitos que debe cumplir el sistema a diseñar para satisfacer las necesidades del usuario y su contexto:

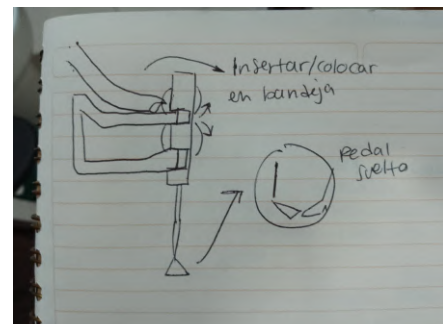
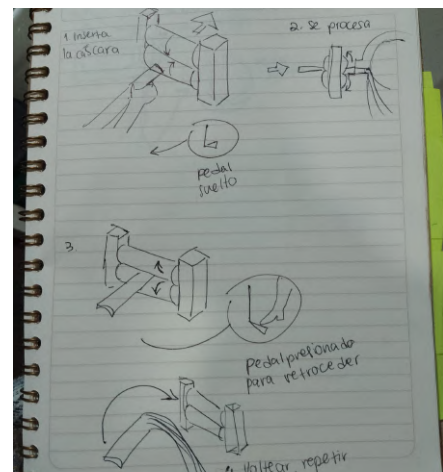
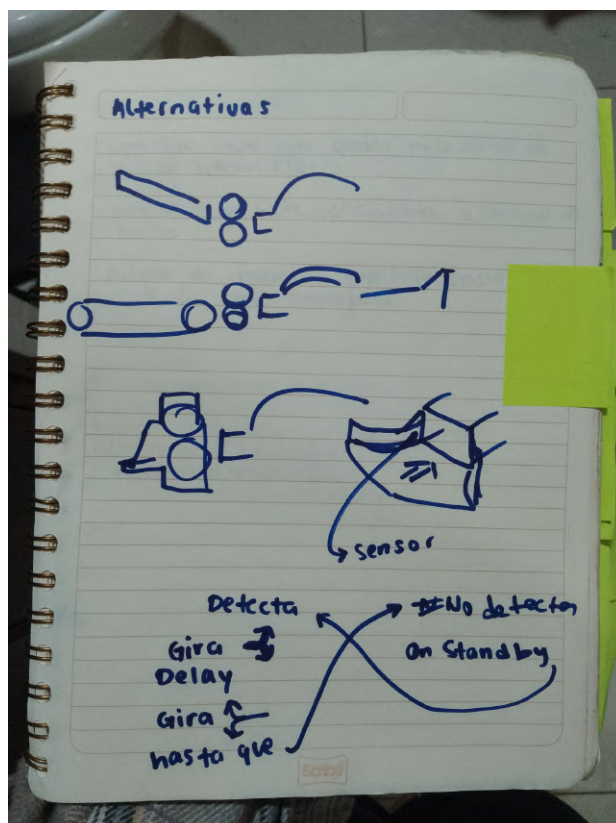
- El sistema debe impedir el contacto del usuario con el barril giratorio mientras esté activo.
- El sistema debe suplementar o reemplazar el agarre que actualmente realizan los trabajadores.
- La interacción con el sistema debe ser comprensible e intuitiva.
- El sistema debe ser fácil de transportar.
- El sistema debe mantener un rendimiento igual o superior al obtenido actualmente.
- Los materiales utilizados deben ser resistentes a la exposición directa a la luz solar y a la lluvia.
- El sistema debe proveer una parada de emergencia al alcance del operario.
- El sistema debe ser fácil de dar mantenimiento y limpieza.

Tomado del resumen ejecutivo presentado previo a la presentación.

Anexo 7: Primera maqueta física.



Anexo 8: Ideación de nuevas interfaces a partir de propuestas del bloque 1



Anexo 9: Rubros de evaluación de propuestas.

Interacción intuitiva Se refiere a si la interfaz muestra mediante su morfología y funciones la manera de interactuar con ella correctamente.
Transportable Se refiere a si el sistema es ligero, acoplable, etc.
Sistema simple Se refiere a la cantidad y complejidad de sistemas que lo componen
Fácil de limpiar Se refiere a que no tenga recovecos pequeños, caras difíciles de alcanzar, etc.
Manufactura simple Se relaciona con la complejidad de la morfología y de los sistemas del producto

Anexo 10: Análisis tecnológico.

Sensor de proximidad

Su función será detectar la presencia o ausencia de abacá en la bandeja, de manera que el sistema pueda dar una respuesta acorde al input recibido.

Modelo	1. E18-D80NK Infrared Obstacle Sensor Proximity Switch	2. Ultrasonic Waterproof Sensor	3. HC-SR04 Ultrasonic Ranging Module
Imagen			
Descripción	Un sensor de infrarrojo que detecta la presencia de objetos en el rango definido. No se ve interferido por la luz solar o eléctrica.	Sensor ultrasónico que puede detectar la distancia de un objeto con una precisión de hasta 3mm.	Sensor ultrasónico que puede detectar la distancia de un objeto con una precisión de hasta 3mm.
Rango de detección	3 cm a 80 cm	25 cm a 450 cm	2 cm a 400 cm
Otros atributos	Cuenta con dos anillos que facilitan su instalación.	A prueba de agua.	-

Tabla 4: Sensores de proximidad evaluados.

Se seleccionó el sensor infrarrojo #1 debido a que el rango de detección se adapta a la propuesta y su forma lo hace fácil de incorporar al sistema. Además, a pesar de no ser a prueba de agua provee muy buena protección de sus partes electrónicas críticas a diferencia de la opción #3. La opción #2 se descartó porque su rango de detección no se acopla a las necesidades del proyecto, a pesar de que el hardware es el ideal para la aplicación.

Servomotor

Tendrá la función de generar el cambio de marchas mediante la rotación del eje selector según el input recibido por el sensor de proximidad.

Modelo	1. SG90 TowerPro Servo Motor [180°]	2. Servo - Generic High Torque Full Rotation (Standard Size) [ROB-09347]	3. KS-35-18 Full Metal Digital Servo
Imagen			
Torque	2.5 kg/cm	4.8 kg/cm	12 kg/cm
Precio	\$5,50 (MicroJPM)	\$18,95 (MicroJPM)	\$27,50 (MicroJPM)

Tabla 5: Servomotores evaluados.

Inicialmente se seleccionó el servo #3 para asegurar un funcionamiento adecuado del servo en condiciones de alta fricción. Sin embargo al no estar disponible se optó por la opción #2, el cual también provee un torque aceptable.

Controladores

Tendrá la función de tomar el input recibido por el sensor de proximidad, procesarlo y transformarlo en una señal al servomotor para su movimiento.

Modelo	1. Arduino UNO	2. Raspberry Pi	3. Microcontroladores
Imagen			
Descripción	Es un microprocesador con almacenamiento, input, output, tierra y voltaje incorporado. Muy útil para proyectos.	Es un microprocesador con almacenamiento, input, output, tierra y voltaje incorporado. Muy útil para proyectos.	Es un sistema que integra procesadores y memorias para seguir instrucciones programadas en su memoria. Muy útil en dispositivos empotrados.
Disponibilidad / precio	\$49,95 (MicroJPM) / Gratis pidiendo uno prestado de la Escuela de Diseño Industrial	\$102.95 (CR Cibernética)	\$8,50 (MicroJPM)
Compatibilidad	Se transfiere el código directamente desde la computadora mediante un cable USB.	Se transfiere el código directamente desde la computadora mediante un cable USB.	Requieren el uso de un dispositivo llamado "Programador" para transferir el código al microcontrolador.

Tabla 6: Controladores evaluados.

Se selecciona el Arduino (#1) para propósitos de la maqueta por su facilidad de programación y disponibilidad en la Escuela; además que el diseñador ya ha trabajado con el sistema anteriormente. Por su lado, se recomienda la opción #3 para el producto final porque sus sistemas incorporados lo hacen muy apto para uso en sistemas empotrados que se van a utilizar de manera remota, como el producto que se plantea.

Fuentes de energía

Los componentes que forman el sistema electrónico requieren una fuente de energía que sea capaz de potenciarlos para un funcionamiento exitoso. Es importante tomar en cuenta cómo se incorpora su reemplazo o recarga a las actividades laborales diarias, así como el ciclo de vida de la batería.

Fuente	1. Batería 9V alcalina	2. Batería 9V Li-Ion	3. Batería 7.4V Li-Ion
Imagen			
Características	Batería alcalina de 9V de un único uso.	Batería de litio recargable de 9V a 1000mAh. Aguanta más de 1000 recargas.	Batería de litio recargable de 7.4V a 2200mAh. No tiene protección de circuito.
Precio	¢2.395 (EPA)	\$14,95 (MicroJPM)	\$27,95 (MicroJPM)
Modo de conexión	Adaptador de batería 9V	Input: Cargador micro USB Output: Adaptador de batería 9V	Input: Requiere un cargador especial Output: Cables soldados

Tabla 7: Fuentes de energía evaluadas.

Se seleccionó la opción #2 ya que al ser recargable resulta ser una opción más amigable con el ambiente que la batería #1. Además, al poder ser cargada con un cable Micro USB se puede incorporar fácilmente a las actividades laborales ya que estos son muy comunes y baratos en la actualidad, a diferencia del cargador especializado que requiere la opción #3.

Transmisión de movimiento rotacional

El movimiento rotacional es el fundamento del sistema existente y del sistema propuesto. Ya que no es posible a nivel técnico tener una fuente de movimiento (como un motor) en cada eje de rotación se necesita de mecanismos que permitan transmitir el movimiento rotacional de un eje a otro. Los más utilizados en maquinaria industrial son:

Tipo	Engranajes	Cadenas	Bandas y poleas lisas	Bandas y poleas dentadas
Descripción	Es un sistema de dos ruedas dentadas en el que una de las ruedas le transmite movimiento rotacional a la otra al entrelazar sus dientes. Giran en dirección opuesta. Permiten cierta holgura dependiendo de la profundidad de los dientes.	El sistema consiste en dos piñones dentados, uno transmitiendo movimiento rotacional a otro cuando sus dientes se enganchan a los puentes de la cadena que los conecta. Giran en la misma dirección. Muy duradera.	Consiste en dos poleas con perfil en forma de V conectadas por una banda, que transmite el movimiento mediante la fricción. La banda se desgasta a menudo, sin embargo son bastante baratas. La banda no es elástica, no permite holguras.	Consiste en dos poleas dentadas conectadas por una banda, también dentada, que transmite el movimiento mediante la fricción. La banda se desgasta a menudo, sin embargo son bastante baratas. La banda no es elástica, no permite holguras.
Distancia entre ejes	A mayor distancia entre ejes, más pesado y caro el sistema	Apto para distancias grandes entre ejes.	Apto para distancias grandes entre ejes.	Apto para distancias grandes entre ejes.
Tamaño de polea/ engranaje	Si bien el tamaño influye, el factor más importante es la relación entre la	El tamaño influye en la velocidad y torque resultante.	El tamaño influye en la velocidad y torque resultante. No es recomendable	El tamaño influye en la velocidad y torque resultante. Recomendable para poleas

	cantidad de dientes de ambos piñones, pues esta influye en la velocidad y el torque resultante.		para poleas muy pequeñas ya que no generan fricción suficiente.	pequeñas ya que los dientes aumentan la fricción generada.
Variaciones posibles	Dientes rectos, dientes helicoidales. Engranajes rectos para ejes paralelos. Engranajes cónicos para ejes perpendiculares.	No aplica	Banda recta para giro en la misma dirección. Banda cruzada para giro en direcciones opuestas, con restricciones de velocidad ($<15\text{m/s}$).	Banda recta para giro en la misma dirección. Banda cruzada para giro en direcciones opuestas, con restricciones de velocidad ($<15\text{m/s}$).

Tabla 8: Mecanismos de transmisión de movimiento rotacional.

Cambio de marchas

Entre las funciones esenciales del producto está la de cambiar la dirección de giro de los rodillos. Al ser movidos por la transmisión de movimiento de una polea externa al sistema, es necesario encontrar una manera de tomar este movimiento y cambiar su dirección sin afectar el sistema de origen. Se determinó que la manera más adecuada de realizar esta operación es mediante un sistema de cambios como los que poseen muchos vehículos.

Tipo	Transmisión manual	Transmisión automática	Transmisión secuencial
Usos	Se utilizan en vehículos de todo tipo, donde es importante para el conductor controlar directamente la marcha.	Se utiliza en todo tipo de vehículo en que el conductor valore más la facilidad de no tener que seleccionar la marcha que el control que le provee una transmisión manual.	Se utiliza en vehículos que requieren un cambio de marchas muy veloz, como vehículos de carreras o motocicletas.
Replicabilidad	Requiere de un sistema de clutch que desconecte el eje de input de su fuente de movimiento. Cada piñón necesita un acople para poder realizar el cambio de marchas. Los engranajes en sí son bastante caros, costando al menos ¢15 000 cada uno (lzsados).	Es un sistema mucho más complejo que la transmisión manual, las piezas son grandes y difíciles de conseguir, además de desproporcionadas para el proyecto actual.	Las piezas son baratas y fáciles de conseguir en el set. El sistema es simple y el mecanismo de selección de marcha es compatible con el sistema electrónico propuesto.

Tabla 9: Mecanismos de cambio de marchas.

Materiales

Materiales para la carcasa y bandeja

Material	Acero inoxidable	Aluminio
Ventajas	• Alta resistencia a la corrosión • Fácil limpieza y desinfección • Reciclable • Fácil de soldar • Distintos acabados disponibles • Excelente durabilidad	• Más ligero que el acero • Alta ductilidad • Muy maquinable a altas velocidades • Anodizable, protección contra la corrosión • Reciclable • Más barato que el acero
Desventajas	• Más costoso que el aluminio	• El costo de soldar aluminio es muy elevado

Tabla 10: Materiales para la carcasa y bandeja.

A pesar de que ambos materiales presentan características que se adaptan muy bien a la necesidad, se selecciona el acero inoxidable por dos principales motivos: El aluminio requiere de equipo especializado para soldadura que no todos los talleres tienen, y el acero es más duro que el aluminio, dándole una mayor vida útil lo cual eventualmente compensa por un costo mayor de primera entrada.

Materiales para el recubrimiento de los rodillos

Material	Ventajas	Desventajas
Poliuretano	• Resistencia a la abrasión • Buena elasticidad • Resistencia al desgarro y rotura • Resistencia a la hidrólisis	• No todos los poliuretanos son biodegradables
Caucho natural	• Recuperación frente a deformaciones • Resistencia a la abrasión • Buena elasticidad • Resistencia al envejecimiento • Reciclable	• El caucho natural es permeable

	• Biodegradable	
Rilsan	• Ligero, poco denso • Buena flexibilidad • Apto para usos de alta humedad • Alta resistencia • Alta elasticidad • Alta resistencia a la abrasión	• No es biodegradable

Tabla 11: Recubrimientos para rodillos.

Para el recubrimiento de los rodillos se propone el uso de caucho natural debido a que es el único de los materiales comúnmente utilizados como recubrimiento de rodillos con un procesamiento después de su vida útil compatible con la preservación del medio ambiente.

Acabados

Los acabados pueden ayudar a mejorar las propiedades de los materiales, alargando su vida útil y añadiendo valor desde el factor estético del producto.

Anodizado	Es un proceso electroquímico que mejora la resistencia a la abrasión y a la corrosión de un material. Además, puede dársele color al metal durante este proceso.
Revestimiento de conversión de cromato	Es un recubrimiento químico que sirve para prevenir la corrosión, mejorar ligeramente la resistencia a la abrasión y mejorar la adherencia de pinturas en metales.
Lacado	Consiste en la aplicación de pintura en polvo, la cual al ser calentada forma un recubrimiento similar a una resina. Puede ser <i>glossy</i> o <i>matte</i> . Está disponible en una variedad de colores. Mejora la resistencia a la abrasión de un material.

Tabla 12: Acabados de metales.

Procesos

La pieza más personalizable del producto planteado es la carcasa, por lo que resulta necesario evaluar los diferentes procesos que se podrían utilizar para manufacturar este componente.

Corte de piezas

Corte plasma Consiste en fundir secciones de metal mediante un gas expulsado a tan alta presión que funde la sección de metal que atraviesa.	
Ventajas: • Reduce el tiempo de corte • Muy alta precisión • Compatible con los materiales propuestos • No limita el grosor del material	Desventajas: • Poco común en el país • Requiere de un proveedor externo • Únicamente permite la operación de corte

Router CNC Consiste en una fresadora de movimiento computarizado, que corta o desgasta el material mediante una broca giratoria.	
Ventajas: • Reduce el tiempo de corte • Muy alta precisión • Permite realizar grabado	Desventajas: • Aunque se pueden utilizar para este propósito, los routers CNC no están diseñados para cortar metal

Corte láser Consiste en un láser de alta energía que funde el metal que atraviesa.	
Ventajas: • Reduce el tiempo de corte • Muy alta precisión • Ampliamente disponible • Permite realizar grabado	Desventajas: • Limita mucho el grosor del material (1.5 mm en aluminio; 3 mm en acero)

Corte con esmeriladora Consiste en una herramienta manual con un disco de corte que gira a altas	
--	--

velocidades, cortando el material que atraviere	
Ventajas: • Ampliamente disponible • Muy versátil	Desventajas: • Proceso muy lento y manual • Puede ser impreciso • Requiere trabajadores muy capacitados

Procesos de conformado

Soldadura
Se refiere a la unión de piezas metálicas mediante un proceso de fundición de material, creando puntos o canales que conectan piezas de manera permanente.

Doblado con prensa plegadora Se refiere al moldeo de una lámina de metal para que tenga un doblez con un perfil definido por una matriz. Las prensas plegadoras varían según la fuente de fuerza. A menor escala de producción suelen ser mecánicas, mientras que a mayor escala pueden ser hidráulicas o eléctricas.	
Ventajas: • Resultados precisos	Desventajas: • El equipo más sofisticado es muy poco común

Plegado manual Se refiere al plegado de una lámina metálica en una arista que ha recibido una ligera remoción de material (marcado, grabado)	
Ventajas: • Fácil de realizar con equipo poco sofisticado	Desventajas: • El resultado no es tan preciso

Rolado de lámina Se refiere al moldeo que se le da a una lámina de metal con una máquina roladora. Esta puede ser automática o manual, según la escala de producción	
Ventajas: • Resultados precisos	Desventajas: • No todos los talleres tienen una

Anexo 11: Lista de materiales aportados por el CIF

Lugar	Ítem	Cant.	Código	Precio
CR Cibernética (en línea)	Sensor de proximidad Uso: Input para control del servo, haciendo que los rodillos metan o saquen la cáscara	2	SEN-CB0471	\$4.49
	Servomotor Uso: Accionar el cambio de marchas para cambiar la rotación del rodillo conductor	1	MG996R	\$8.95
Pequeño Mundo (en línea o en tienda)	Piso heavy duty Hule Uso: Recubrimiento de rodillos	1	10080115	€21 500
Colono Construcción (en línea o en tienda)	Lámina de hierro pulido #20 Uso: Material para la carcasa del sistema, estructura de rodillos y la bandeja de entrada	1	2004126	€20 579
Repuestos Gigante (en tienda)	Juego de cambios Uso: Gestionar que el rodillo se mueva hacia adelante o atrás. El modelo o la potencia no es importante.	1	45-1S 45-1B	€19 990 €24 990
	Espiral (resorte de suspensión) Uso: Comprimir la cáscara para reemplazar el agarre del trabajador. Buscamos uno que sea fuerte, es decir que requiera esfuerzo comprimirlo (ver ejemplos abajo)	2 (iguales)	48231-42O10 48131-52A50 41311-76K00	€7 990 €7 490 €16 950

De estos componentes solo se compraron el juego de cambios, el espiral y la lámina de hierro. Para los demás materiales se encontraron alternativas que cumplieran la misma función.

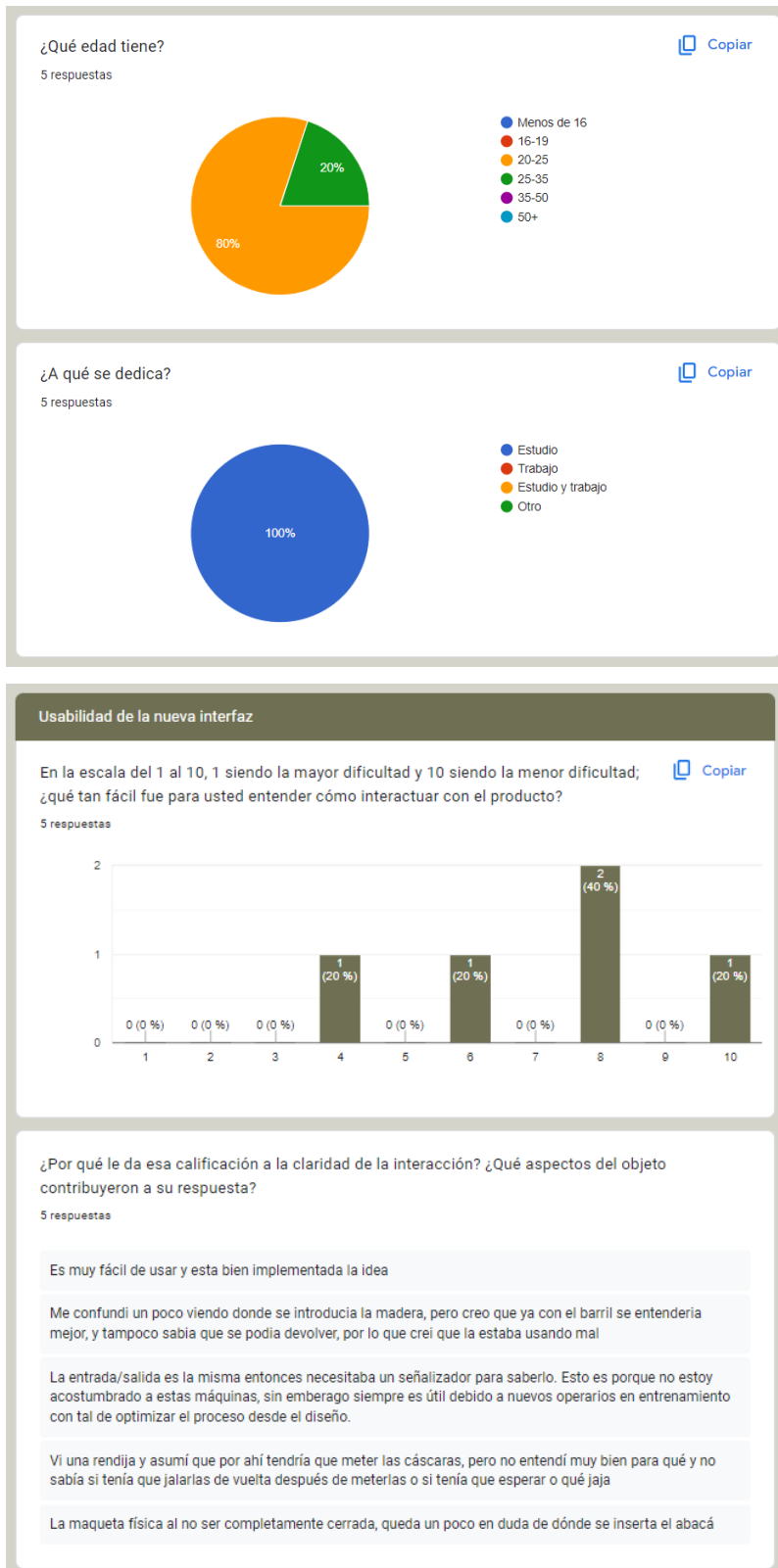
Anexo 12: Cálculo de velocidades de inserción.

El cálculo de la velocidad con la que los trabajadores insertan la cáscara a la máquina se realizó a partir de la observación de dos videos [11 y 12], los cuales fueron descargados y puestos en Adobe Premier Pro. El programa permite manipular un clip cuadro por cuadro, lo cual era indispensable para contabilizar el tiempo de inserción por la velocidad con la que realizan la acción. Este valor se dividió entre la longitud promedio de una cáscara de abacá para obtener una relación entre el tiempo y la distancia recorrida.

Se eliminó la muestra 3 debido a que era un valor anormalmente bajo en contraste con los demás datos obtenidos.

Velocidad de procesamiento				
Muestra	Tiempo inicial	Tiempo final	Tiempo de inserción (s)	Velocidad (m/s)
1	00:00:01:12	00:00:03:02	1.9	0.81
2	00:00:13:08	00:00:14:16	1.08	1.43
3	00:01:49:05	00:01:54:12	5.07	0.30
4	00:02:34:16 00:02:35:17	00:02:35:00 00:02:35:24	0.86	2.02
5	00:02:37:22 00:02:39:04	00:02:38:06 00:02:39:14	0.93	1.87
6	00:02:41:23 00:02:43:04	00:02:42:06 00:02:43:14	0.92	1.89
Promedio (eliminando muestra 3)				1.60

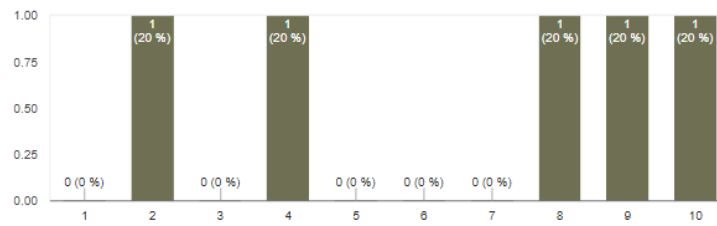
Anexo 13: Validaciones con usuarios de maqueta funcional



En una escala del 1 al 10, 1 siendo la mayor dificultad y 10 la menor dificultad; ¿qué tan fácil fue para usted intuir la respuesta del producto al momento de insertar el "abacá"?

 Copiar

5 respuestas



¿Por qué le da esa calificación la intuitividad de la interacción? ¿Qué aspectos del objeto contribuyeron a su respuesta?

5 respuestas

Se intuye muy sencillo el proceso

La misma razón de que me confundí en donde insertar, pero creo que con el barril ya se entiende mejor

Por modelo mental el rotar la palanca introduciendo un objeto intuyo que me devolverá el material en otro estado.

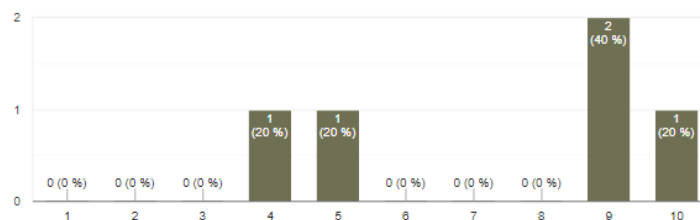
Había visto los rodillos entonces pues sí pensé que lo que iba a pasar era que cuando metiera las cáscaras los rodillos las iban a agarrar pero, cuando intenté sacarlas casi se me cae el producto porque los rodillos estaban jalándolas entonces aparte de meter las cáscaras y que se jalen adentro del producto no sé qué otra cosa es la función

No capte muy bien que se debe insertar parte del abacá, y después retirarlo

En la escala del 1 al 10, 1 siendo la menor seguridad y 10 siendo la mayor; ¿qué tanta seguridad le transmitió el producto durante su interacción con él?

 Copiar

5 respuestas



¿Por qué le da esa calificación al aspecto de seguridad de la interacción? ¿Qué aspectos del objeto contribuyeron a su respuesta?

5 respuestas

La pequeña grada que tiene ayuda mucho contra accidentes

creo que esta bien porque mis manos nunca llegan a acercarse mucho al lugar donde se hace el proceso

La boquilla es suficientemente grande como para introducir mano y sufrir accidente. Reconozco que es parte de la funcionalidad (se necesita amplia entrada para fibras), y aunque es requisito, resta a la seguridad inherente del producto.

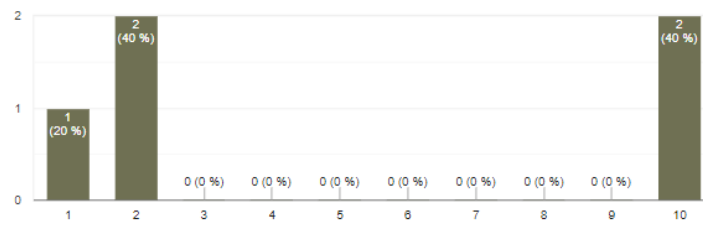
Como dije, el producto casi se me cae cuando hice fuerza para jalar entonces esa parte está como incómoda, pero para meter las cáscaras y todo no se ve muy peligroso ni nada y fue sencillo

No saber qué tanto se debe insertar del tallo y pensar que la máquina gira da la sensación de pasarse y tocar la parte giratoria de la máquina

En la escala del 1 al 10, 1 siendo la menor cantidad de esfuerzo y 10 siendo la mayor cantidad de esfuerzo; ¿qué tanto esfuerzo físico tuvo que realizar durante la interacción?

 Copiar

5 respuestas



¿Por qué le da esa calificación al aspecto de esfuerzo físico? ¿Qué aspectos del objeto contribuyeron a su respuesta?

5 respuestas

Casi ni se realiza algún tipo de esfuerzo

Como se devuelve solo, yo solo tuve que introducir entonces fue mínimo

No hay que rotar palanca (es un proceso automático); solo introducir/recibir las fibras.

Meter las cáscaras fue muy sencillo y los rodillos las jalaban muy fácilmente pero como no entendí bien que había que hacer entonces al intentar jalarlas hacia afuera sí hice un poco de fuerza, por lo mismo de que los rodillos estaban jalándolas hacia adentro

No presenta mayor dificultad física

Usabilidad de la interfaz anterior

¿Que emociones o sensaciones le generó la interacción del trabajador con la máquina? Puede indicar varias si desea, puede dar su explicación con la profundidad que desee.

5 respuestas

Da la sensación de inseguridad, prácticamente a las personas les puede pasar algo en cualquier momento en sus manos

Siento que se ve como un trabajo muy cansado y pesado, que requiere de fuerza física para poder usarse

inseguridad, se ve un proceso peligroso, puede lesionar mano y brazo si los introduce

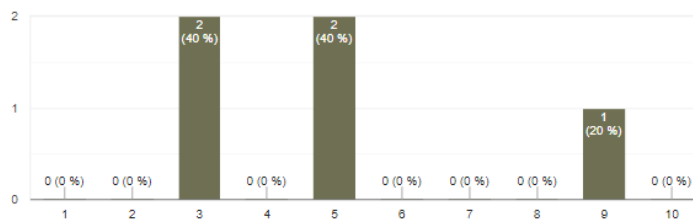
Me pareció cool y hasta divertido ver como se desfibaban tan fácilmente y pensé que el muchacho era muy fuerte por hacer eso tantas veces

El trabajador parecía muy seguro, realizando un trabajo rápido y eficiente

En la escala del 1 al 10, 1 siendo la menor seguridad y 10 siendo la mayor; ¿qué tanta seguridad le transmite la interacción observada en los videos?

 Copiar

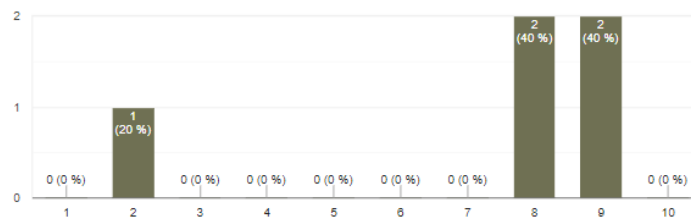
5 respuestas



En la escala del 1 al 10, 1 siendo la menor cantidad de esfuerzo y 10 siendo la mayor cantidad de esfuerzo; ¿qué tanto esfuerzo físico intuye que deben realizar los trabajadores durante la interacción observada en los videos?

[Copiar](#)

5 respuestas



Referencias

- [1] Arias-Aguilar, D. (2023). Experiencias del TEC en la generación de conocimiento sobre el cultivo de abacá en acompañamiento a las personas productoras de la Zona Norte y Atlántica de Costa Rica. *Revista InvestigaTEC*, vol. 16, núm 46, 26-32.
- [2] INEC. (2023). Encuesta Nacional de Hogares 2022 y 2023. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- [3] Greenberg, A. (2022). Plastic Free July: How 20 countries are taking action. Sustainable Ocean Alliance. [En línea]. Disponible: <https://www.soalliance.org/soablog/plastic-free-july-20-countries-taking-action>
- [4] Sociedad Alemana de Cooperación Internacional. (2020). Iniciativa de Abacá Sostenible: Produciendo fibra sostenible desde el sureste asiático hasta Centroamérica. [En línea]. Disponible: <https://www.bpmesoamerica.org/wp-content/uploads/2020/01/Glatfelter.pdf>
- [5] Procomer, Descubre.cr. (2023). Ficha técnica Abacá. Descubre.cr. [En línea] Disponible: <https://www.descubre.cr/wp-content/uploads/2023/04/Ficha-Tecnica-Descubre-Abaca-Mar23.pdf>
- [6] GIZ. (2022). Testimonios de la iniciativa Abacá sostenible. [En línea] Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=Ef3DGvjI4zg&list=PLq4FE-6gXib3DI0RYQIqPEW0kK0fJhPsJ&index=4>
- [7] Sociedad Maderera Barrio Cuba (Somabacu). (2021). SOMABACU, Dejando Huella con producción de ABACÁ. [En línea] Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=v9tv0aDBJZk&list=PLq4FE-6gXib3DI0RYQIqPEW0kK0fJhPsJ&index=3>
- [8] Weather Spark. (2023). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Siquirres. [En línea]. Disponible: <https://es.weatherspark.com/y/16156/Clima-promedio-en-Siquirres-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [9] G. De Diego, comunicación personal, oct., 2023.
- [10] Recursos para la prevención: Lista de comprobación ergonómica para herramientas, Ministerio de trabajo, migraciones y seguridad social, España, 2019.
- [11] Aventuras en el Campo, Talamanca. Productores de fibra de abacá en Costa Rica, |Cultivos de abacá crecen en el país. Consultado: jul-set, 2023. [Video en línea]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=_jvRjQYh_qM&t=154s

[12] Banano Solano, Siquirres. Cosecha de abacá en Siquirres, Limón. Consultado: jul-set 2023. [Video en línea]. Disponible en:
<https://www.youtube.com/shorts/t6aXZ7nZ5iw>

[13] Gutiérrez, D. A., Monge, G. G., Quesada, K. J., Aguilar, D. A., & Cordero, R. Q. (2023). Abaca: a general review on its characteristics, productivity, and market in the world. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 76(1), 10263-10273.

[14] Göldenboth, F., Mühlbauer, W. (2010). *Industrial Applications of Natural Fibers: Structure, Properties and Technical Applications*. Wiley, 163-176.

[15] IDEO. (2015). *Diseño Centrado en las Personas: Kit de herramientas*.

[16] Araya-Salas, M; Arias-Aguilar, D; Valverde-Otárola, J.C; Arias-Ceciliano, K; Muñoz-Acosta, F; Camacho-Calvo, A.M; Garro Monge, G; Jiménez-Quesada, K; Mora-Molina, J. Avances en las investigaciones realizadas en cultivos de abacá establecidos en Costa Rica con especial referencia a los sistemas agroforestales. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35, especial V Encuentro Bienal Centroamericano y del Caribe de Investigación y Posgrado. Junio, 2022. Pág 50-59.

[17] Ponce-Medina, J. (2015). Producción de fibra de abacá (*Musa textilis*) con abonadura orgánica. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 02-11.

[18] El agrónomo orgánico. (2012). Abacá, generalidades y cultivo. [En línea]. Disponible en
<http://elagronomoorganico.blogspot.com/2012/06/abaca-generalidades-y-cultivo.html>

[19] Campuzano, J. Cedeño, W. (2018). Análisis de las exportaciones de abacá en el Ecuador del periodo 2013-2017. Universidad Laica Elroy Alfaro de Manabí.

[20] Diego-Mas, J.A. (2015). Análisis de riesgos mediante la Lista de Comprobación Ergonómica. *Ergonautas*, Universidad Politécnica de Valencia. [En línea]. Disponible en <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/lce/lce-ayuda.php>

[21] Remón, B. (2013). Movimientos repetitivos. Dpto. de Prevención de Riesgos Laborales de CEN. [En línea]. Disponible en
<http://www.cen7dias.es/contenido.php?bol=94&id=1953&sec=4>