

Diseño de un sistema semiautomático para la extracción de gel de aloe vera; análisis integral del costo del ciclo de vida del equipo

Artículo de Investigación Científica - Fecha de Recepción: 19 de marzo de 2013 - Fecha de Aceptación: 6 de junio de 2013

Wilmer Velilla Díaz

Ingeniero Mecánico. Magíster en Ingeniería Mecánica. Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia. wvelilla@uac.edu.co

Luis Amórtegui Osorio

Ingeniero Mecánico. Magíster en Ingeniería Mecánica. Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia. luis.amortegui@gmail.com

Deymar Montero Álvarez

Ingeniero Mecánico. Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia. deymar.montero@yahoo.com

Omar Oviedo Alí

Ingeniero Mecánico. Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia. omar.oviedo@uautonoma.edu.co

Óscar Pérez Ariza

Ingeniero Mecánico. Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia. oscar.perez@uautonoma.edu.co

Para citar este artículo / to reference this article:

W. Velilla, L. Amórtegui, D. Montero, O. Oviedo, and Ó. Pérez, "Diseño de un sistema semiautomático para la extracción de gel de aloe vera; análisis integral del costo del ciclo de vida del equipo," *INGE CUC*, vol. 9, no. 1, pp. 99-113, Jun. 2013.

RESUMEN

En el presente artículo se aborda el proceso de selección de un diseño para la extracción de gel de aloe vera. Se propuso una metodología de diseño basada en pesos ponderados, en la que se implementó un diseño conceptual, donde se identificaron las especificaciones, requerimientos y métricas, acordes a las necesidades del sector. Se definieron los elementos funcionales y físicos del sistema. A través del software CAD SolidWorks se modelaron las alternativas. Se utilizaron catálogos para la selección de los accesorios y motores y con los parámetros de operación de estos se determinaron las capacidades de producción de cada máquina. Como resultado de la metodología se seleccionaron los dos diseños que cumplen en mayor grado con las funciones y requerimientos de productividad. A las alternativas seleccionadas se les realizó el análisis del costo de ciclo de vida para escoger la alternativa definitiva, a la cual se le calculó el retorno de la inversión, con el fin de validar su viabilidad económica.

Palabras clave

Metodología de diseño, diseño conceptual, relación costo/beneficio, retorno de la inversión, diseño de detalle.

Design of a Semi-Automatic System for Aloe Vera Gel Extraction: Life Cycle Cost Analysis

ABSTRACT

This paper contains the selection process of an aloe vera gel extraction system design. A design methodology was proposed based on relative weight to implement the conceptual design, and identify specifications, requirements and metrics according to industry needs. Functional and physical elements of the system were defined and SolidWorks CAD software was used to model the alternatives. Catalogues were used for accessories and motor selection. Motor specifications were used to calculate production capacity for each machine. As result of this methodology, two aloe vera extraction designs that satisfied in greater degree the metrics and requirements were selected. Life cycle cost analysis was performed to both alternatives in order to select the best one. Finally, return on investment was calculated for the selected alternative to validate its economic viability.

Keywords

Design methodology, conceptual design, cost-benefit ratio, return on investment, detail design.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de productos a base de aloe vera en el mundo, ha permitido que las empresas procesadoras de sus derivados mejoren sus procesos y tecnologías asociadas a la transformación industrial de la sábila. En Colombia existe un excelente potencial para producir grandes volúmenes de aloe vera, con el fin de cubrir el déficit en la oferta de sus derivados, donde solo el 35% de estos son procesados, ya que las pocas empresas que existen utilizan métodos convencionales y poco tecnificados, que no alcanzan a cubrir la demanda de esta materia prima [1]. De ahí que se necesitan plantas procesadoras con la tecnología necesaria, que le agreguen valor para ingresar al mercado nacional y mundial [1].

Por estas razones, las industrias buscan nuevos métodos de extracción de gel de aloe con el fin de mejorar la eficiencia de sus procesos. Por lo que compañías como For Ever Living, Aloe Production, Florida Food Products Inc., entre otras, han implementado dispositivos mecánicos de extracción del gel que incrementan el rendimiento entre un 60% y un 70% por kilo de hoja de sábila, garantizando el máximo aprovechamiento de esta [2].

Por otro lado, han surgido invenciones como en [3]-[6] donde proponen diseños de máquinas extractoras de gel, en las que utilizan diferentes métodos para su obtención, reduciendo de esta manera la contaminación del gel con la aloína, agentes degradantes y pérdidas de tiempo.

Del mismo modo, en [7] se describe un proceso que reduce el contacto de la aloína presente en la concha, manteniendo así una sustancia química activa en la planta de aloe para la producción de fármacos. Y [8] propone separar el gel

transparente combinándolo con aditivos químicos, atacados con luz ultravioleta, para esterilizar el gel y eliminar bacterias presentes en el jugo, permitiéndole mayor durabilidad.

Con el transcurso del tiempo, se ha demostrado que se puede conseguir mayor eficiencia en el jugo de aloe si se posee un dispositivo que implemente rodillos y bandas, impulsados por motores eléctricos, que tienen un grado de inclinación considerable, garantizando mayor rendimiento por hoja de gel y mejor fileteado que otras máquinas que trabajan bajo el mismo principio. Por esta razón, en este artículo, se presentan tres diseños nuevos que fueron modelados en SolidWorks, con mejoras de las máquinas actuales. La capacidad de producción, para cada máquina, está en función de los parámetros de operación de los motores seleccionados. Las dos mejores alternativas se determinaron mediante una metodología de pesos ponderados y para seleccionar la definitiva entre estas dos se realizó un análisis de costo del ciclo de vida; posteriormente, para verificar la viabilidad económica de la máquina seleccionada, se realizó el cálculo de retorno de la inversión.

METODOLOGÍA

En la Fig. 1 se muestra la consecución del objetivo general, que es el diseño de un dispositivo semiautomático para la extracción de gel de aloe vera, basado en la integración de las metodologías de diseño conceptual para la obtención de alternativas posibles [9], y la metodología de análisis del costo del ciclo de vida (ACCV) [10], [11], que permita seleccionar la opción más viable concerniente a costos asociados para su debido diseño de detalle.

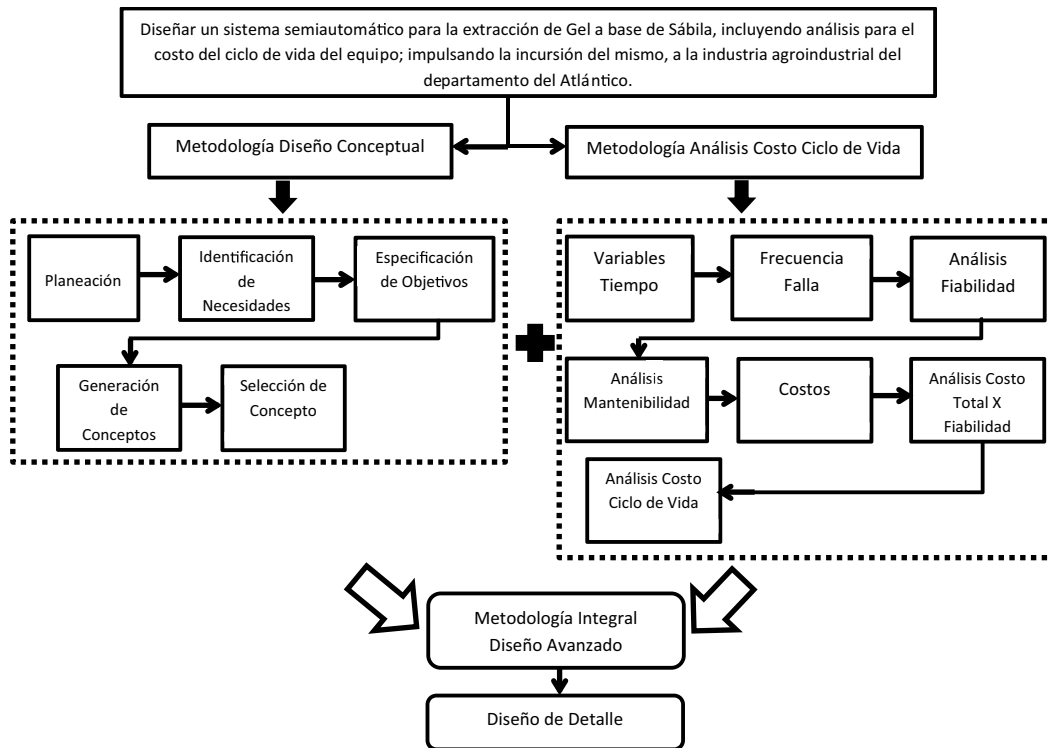


Fig. 1. Metodología Aplicada.

Fuente: Elaboración propia.

DIAGRAMA DE FUNCIONES DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GEL DE ALOE VERA

El diagrama de funciones (Fig. 2) muestra en forma sintetizada el conjunto de elementos, variables y/o perturbaciones asociadas al sistema de extracción de gel de aloe vera [12]. De esta manera, se observa que para que el sistema (máquina) logre el procesamiento de la hoja de sábila, deberá recibir un tipo de energía (preferiblemente energía eléctrica); así mismo, una señal de arranque debe llegar al bloque de control, para que el dispositivo reciba las hojas de sábila que posteriormente serán procesadas. En el diagrama se muestra el bloque Procesamiento Hoja Sábila, en el cual está inmersa la forma como se procesará la hoja; el mecanismo de desprendimiento del gel, la manera de recibirlo y la forma

como se expulsarán las conchas. Cabe resaltar que, como elementos de salida de este proceso, se tendrá evidentemente el gel de aloe vera (extraído), las conchas de sábila, como desechos, perturbaciones enmarcadas por las vibraciones y el ruido que genere la operación.

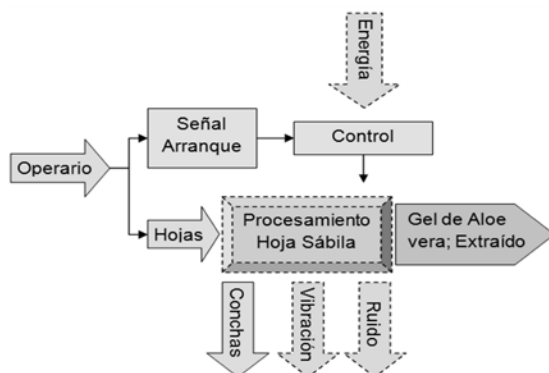


Fig. 2. Diagrama de funciones del sistema extractor de gel de aloe vera

Fuente: Elaboración propia.

REQUERIMIENTOS Y MÉTRICAS

Para la identificación de los requerimientos que rigen el diseño del presente sistema, primero se debe identificar las necesidades formales e informales [13] que rigen la situación central de la propuesta. Las necesidades formales describen los requerimientos funcionales del sistema; las segundas (informales), son los requerimientos propuestos por las empresas procesadoras de gel de aloe vera en el mercado nacional e internacional. Para el cumplimiento de los requerimientos propuestos en el diseño,

se debe determinar aquellos aspectos técnicos conocidos como métricas, que son afirmaciones medibles (cuantificables) que describen las características precisas que debe satisfacer de las necesidades de las empresas procesadoras de aloe vera. En la Tabla 1 se muestran claramente los requerimientos propuestos, basados en investigaciones y consulta con sus respectivas métricas, estos requerimientos y sus valores están relacionados con los valores de producción de las máquinas que existen actualmente para la extracción de gel [3].

TABLA 1. LISTA DE REQUERIMIENTOS Y MÉTRICAS

Tipo especificación	Requerimiento	Métricas	Unidad
DISEÑO	Que sea compacto y modular	Dimensiones de la máquina: menores a 1.5 m de alto, 2 m de largo y ancho.	m
	Que sea fácil de usar	Diseño sencillo y ergonómico para su operación.	Subj.
	Que garantice una operación segura	Cumplir con normativas de seguridad.	
	Que la hoja de sábila se procese lo más rápido posible	Duración de la operación, menor a 5 segundos/penca.	Seg/ penca
	Que incremente los índices de productividad del proceso de extracción de gel	No menor a 0,2 pencas/seg	Pencas/ Seg
	Que se utilicen materiales que no contaminen y afecten la calidad del producto	Componentes en acero inoxidable	Subj.
	Que reduzca el desperdicio de materia prima	50% de aprovechamiento de la materia prima.	%
	Que reduzca la intervención humana	Menos de dos personas/máquina	No. personas
	Que pueda extraer el gel de la hoja de sábila	Utilizar no menos de una herramienta de corte.	Subj.
		Tener un colector de gel de aloe.	Subj.
Por lo menos contar con un mecanismo de desprendimiento de cristales de sábila (gel)		Subj.	
Que no mezcle la aloína de cada hoja con el gel de la sábila	Por lo menos un mecanismo para controlar el proceso de desprendimiento	Subj.	

Sigue...

TABLA 1. CONT.


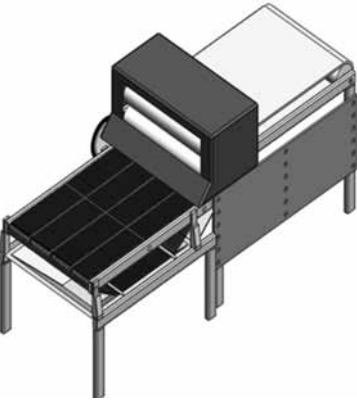
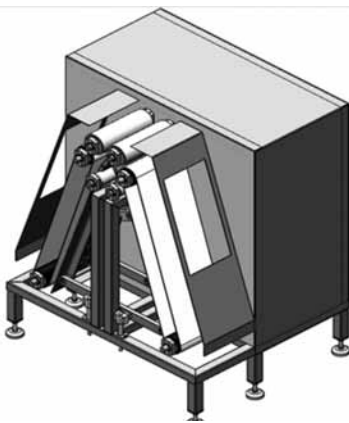
COSTOS	Que el mantenimiento (preventivo y correctivo) del equipo sea fácil y económico.	Correcto diseño y selección de los componentes	Subj.
		Vida útil y tecnológica del equipo no menor a 15 años	años
		Vida económica del equipo no menor a 10 años	años
	Que su operación sea sencilla y económica.	Vibraciones transmitidas al sistema manobrazo no superiores a 2,5 m/s ² para un periodo de exposición diario de 8 h	m/s ²
		Solo un operador por máquina	núm.
		GDL limitados; contar con una única entrada para una salida predecible	Subj.
	Que la inversión inicial sea baja.	No más de \$ 60.000.000/máquina	\$
	Que su fabricación sea económica.	Máximo \$ 35.000.000 en materiales para la fabricación	\$
		No más de \$ 1.500.000/proceso de manufactura	\$
	Que los costos de ensamblaje sean económicos.	Diseño del sistema no muy complejo	Subj.
LOGÍSTICA	Que sea fácil de transportar.	Peso menor a 300 kg	kg
		Dimensiones máximas del sistema (1,5 x 1,8 x 1,2 m).	m
	Que se pueda instalar fácilmente.	Número de componente menor a 200	Unidad.
	Que sus repuestos sean económicos	No más de \$ 500.000 /repuesto	\$
	Que los repuestos sean asequibles.	90% de los componentes se consigan en el mercado nacional	%
	Que gran parte de sus componentes sean estándar; reduciendo los componentes que se deban fabricar	60% de los componentes sean estándar	%
MEDIO AMBIENTE	Que genere bajas emisiones de ruido.	Menos a 85 decibeles	dB
	Que no genere desechos que contamines al medio ambiente.	Funcionamiento con energía eléctrica	Subj.

ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Con el objetivo de establecer el mejor sistema (máquina) de extracción de gel de aloe vera se establecieron tres posibles diseños o alternativas que pueden cumplir en gran medida con las especificaciones

antes mencionadas. A continuación se presenta una descripción del funcionamiento de cada alternativa y sus especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 2. Los datos de producción están relacionados con cálculos del mecanismo que procesa la materia prima.

TABLA 2. LISTADO DE ALTERNATIVAS

Prototipos	Imagen	Especificaciones técnicas
<p>Alternativa 1</p>		<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compacto y modular - Operación sencilla. - Reducción de la manipulación de productos en la línea de producción. - Operada por una persona. <p>Dimensiones: 0,98 m x 2,48 m x 1,55 m (A x L x H).</p> <p>Requerimientos de instalación: Suministro de electricidad; 220V - 60Hz -Trifásico + tierra.</p> <p>Datos de producción: Número de hojas procesadas por hora: 234 pencas/h Velocidad de operación por segundo: 0,065 pencas/seg Cantidad de gel extraíble (eficiencia 43%): 80 kg/h</p>
<p>Alternativa 2</p>		<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operación sencilla. - Reducción de la manipulación de productos en la línea de producción. - Operada por una persona. - Reducción de residuos sólidos en el producto final. - Mayor volumen de hojas procesadas. <p>Dimensiones: 1,20 m x 3,32 m x 1,58 m (A x L x H).</p> <p>Requerimientos de instalación: Suministro de electricidad; 220V - 60Hz -Trifásico + tierra.</p> <p>Datos de producción: Número de hojas procesadas por hora: 220 pencas/h Velocidad de operación por segundo: 0,061 pencas/seg Cantidad de gel extraíble (eficiencia 43%): 75 kg/h</p>
<p>Alternativa 3</p>		<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operación sencilla. - Reducción de la manipulación de productos en la línea de producción. - Operada por una persona. - Reducción de residuos sólidos en el producto final. - Mayor volumen de hojas procesadas. - Compacta y modular. <p>Dimensiones: 0,89 m x 0,715 m x 1,20 m (A x L x H).</p> <p>Requerimientos de instalación: Suministro de electricidad; 220V - 60Hz -Trifásico + tierra.</p> <p>Datos de producción: Número de hojas procesadas por hora: 720 pencas/h Velocidad de operación por segundo: 0,2 pencas/seg Cantidad de gel extraíble (eficiencia 43%): 245 kg/h</p>

Alternativa 1. Esta arquitectura consiste en un par de cintas transportadoras que conducen las pencas a un conjunto de rodillos de trituración que cumplen la función de comprimir y extraer el gel. Por el extremo opuesto a la alimentación del dispositivo se ubica una rejilla que recolecta el gel en un contenedor, separándolo de la concha.

Alternativa 2. En este prototipo las hojas pre-procesadas (lavadas, despuntadas y cortadas longitudinalmente) son introducidas en un par de cintas transportadoras, que conducen las pencas al conjunto de rodillos de trituración con la función de comprimir y extraer el gel. Por el extremo opuesto a la alimentación del dispositivo se ubicada una malla, que separa el gel de la concha. El gel, por acción de la gravedad, cae a un contenedor que filtra el gel de aloe de los residuos sólidos.

Alternativa 3. En esta alternativa las pencas de sábila son introducidas en la tolva superior de la máquina. En una primera fase las hojas son impulsadas por un par de rodillos hacia una cuchilla, que las corta en dos mitades. Posteriormente, cada mitad de las hojas son nuevamente impulsadas por un par de rodillos que la direccionan sobre cintas transportadoras, que a su vez hacen

contacto con el tamiz, permitiendo así la extracción de gel. Por último, el gel es almacenado en una bandeja y las conchas son expulsadas.

PONDERACIONES Y SELECCIÓN MULTICRITERIO

Para seleccionar la máquina de extracción de gel de aloe vera que será diseñada, se ha propuesto utilizar la técnica de comparación de pares o pesos ponderados expuesto en [14], evaluando cada una de las cuatro variables: costo, diseño, logística y medio ambiente, con el fin de determinar el grado de importancia de cada una de ellas (Tabla 3); este mismo procedimiento se repite con cada uno de los requerimientos de cada especificación de la Tabla 2.

En la Tabla 4 se muestra la evaluación que se ha realizado para obtener dos de las mejores arquitecturas (máquinas) propuestas para ser diseñadas y lograr que el proceso de extracción de gel de aloe vera cumpla con la mayor cantidad de requerimientos establecidos. En ese sentido, se puede observar que tanto la alternativa 1 como la alternativa 3 presentan los mejores calificativos en cuanto a grado de satisfacción de requerimientos técnicos se refiere, con una calificación de 4,13 y 4,33, respectivamente.

TABLA 3. PONDERACIÓN DE ESPECIFICACIONES

Tipo de especificación	Costos	Diseño	Logística	Medio ambiente	Grado de importancia
Costos	3	4	5	4	43,07%
Diseño	0,25	3	4	5	32,97%
Logística	0,2	0,25	3	1	11,98%
Medio Ambiente	0,25	0,2	1	3	11,98%

NOTA: Los valores de las calificaciones son los siguientes: 1- Mucho menos importante. 2- Menos importante. 3- Igual de importante. 4- Más importante. 5- Mucho más importante.

TABLA 4. ANÁLISIS MULTI-CRITERIO; SELECCIÓN MÁQUINA DE EXTRACCIÓN

Lista de especificaciones		Imp.	Patente		Video		Prototipo	
Especificación	Requerimiento		Apr.	Pon.	Apr.	Pon.	Apr.	Pon.
Costo	Que la inversión inicial sea baja.	11,75%	4	0,47	3	0,35	4	0,47
	Que su fabricación sea económica.	10,24%	4	0,41	3,5	0,36	3,5	0,36
	Que los costos de ensamblaje sean económicos.	9,64%	4	0,39	2	0,19	4	0,39
	Que el mantenimiento (preventivo y correctivo) del equipo sea fácil y económico.	7,53%	3,5	0,26	4	0,3	4	0,3
	Que su operación sea sencilla y económica.	3,92%	5	0,2	5	0,2	5	0,2
Diseño	Que pueda extraer el gel de la hoja de sábila	7,37%	5	0,37	5	0,37	5	0,37
	Que no mezcle la aloína de cada hoja con el gel de la sábila	6,33%	4,5	0,28	4,5	0,28	5	0,32
	Que la hoja de sábila se procese lo más rápido posible	3,67%	4	0,15	3,5	0,13	5	0,18
	Que incremente los índices de productividad.	3,17%	3	0,1	3	0,1	4	0,13
	Que reduzca el desperdicio de materia prima	3,42%	3	0,1	4	0,14	4	0,14
	Que reduzca la intervención humana	2,82%	3	0,08	5	0,14	5	0,14
	Que sea fácil de operar	1,93%	5	0,1	5	0,1	5	0,1
	Que garantice una operación segura.	1,96%	5	0,1	5	0,1	5	0,1
	Que se utilicen materiales que no contamine y/o afecten la calidad del producto.	1,51%	5	0,08	5	0,08	5	0,08
	Que sea compacto y modular	0,79%	4,5	0,04	4	0,03	4,5	0,04

Sigue...

TABLA 4. CONT.

Logística	Que sus repuestos sean económicos	3,95%	4	0,16	4	0,16	4	0,16
	Que los repuestos sean asequibles.	3,05%	4	0,12	4	0,12	4	0,12
	Que gran parte de sus componentes sean estándar; reduciendo los componentes por fabricar	1,87%	4,5	0,08	4,5	0,08	5	0,09
	Que se pueda instalar fácilmente.	2,02%	4,5	0,09	4	0,08	5	0,1
	Que sea fácil de transportar.	1,09%	4,5	0,05	4	0,04	4,5	0,05
Medio ambiente	Que genere bajas emisiones de ruido.	8,56%	4	0,34	4	0,34	4	0,34
	Que no genere desechos que contaminen el medio ambiente.	3,42%	5	0,17	5	0,17	5	0,17
TOTAL			4,13		3,86		4,33	

ANÁLISIS DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA

Esta metodología permite evaluar de forma cuantitativa los costos asociados al periodo económico de vida útil esperado, expresados en unidades monetarias.

Donde:

Costos iniciales (CI): Comprende el dinero invertido en la investigación, diseño, desarrollo, adquisición e instalación del equipo.

Costos operacionales (CO): Comprende los insumos de operaciones del sistema y la manipulación de este en el proceso de producción.

Costos totales por fiabilidad (CTPF): Corresponde a las pérdidas de dinero generadas en presencia de fallas del equipo. (paros de planta, diferimiento de producción, productos deteriorados, baja de calidad).

Costos de mantenimiento preventivo (CMP): Comprende el costo de personal, equipos y herramientas.

Costos del mantenimiento mayor (CMM): Comprende el costo de personal, equipos y herramientas, consulta especializada.

Valor de reposición (VR): Es el valor que tiene un activo en un tiempo determinado; tiene en cuenta la depreciación física, incluyendo el costo de fletes, derechos aduaneros y gastos de montaje, si los hubiere.

En la Fig. 3 se aprecia la distribución de los costos totales por años en la vida de cada alternativa y en la Tabla 5 se muestra el valor correspondiente de cada rubro de costo para ambas alternativas. Ambos medios revelan la diferencia entre estas, donde la tercera alternativa presenta menores costos asociados en comparación con la primera, a lo largo de los años.

La expresión implementada para el análisis del ciclo de vida “ACCV”, es la siguiente:

$$ACCV(P) = \sum[CI] + CO + CMP + CTPF + CMM - VR \quad (1)$$

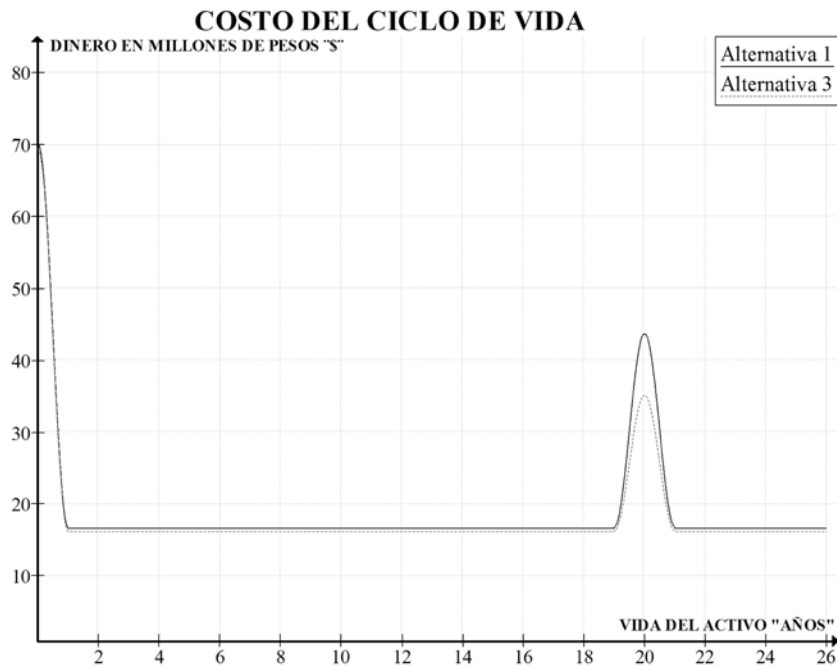


Fig. 3. Análisis del costo del ciclo de vida en años de las alternativas 1 y 3

TABLA 5. ANÁLISIS DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA

Análisis del costo del ciclo de vida				
Alternativa	Arquitectura 1	% total	Arquitectura 3	% total
Costos iniciales (VP)	\$ 52.452.530,91	26,57%	\$ 51.736.746,60	26,86%
Costos operacionales (VP)	\$ 132.346.651,29	67,03%	\$ 129.641.074,79	67,30%
Costos fiabilidad (VP)	\$ 1.339.068,56	0,68%	\$ 640.449,58	0,33%
Costos de mantenimiento preventivo (VP)	\$ 8.603.161,96	4,36%	\$ 8.446.052,36	4,38%
Costo de mantenimiento mayor (VP)	\$ 2.689.288,97	1,36%	\$ 2.170.376,29	1,13%
Valor de reposición (VP)	\$ 0,00		\$ 0,00	
Análisis del Costo del Ciclo de Vida, ACCV (VP)	\$ 197.430.701,69	100%	\$ 192.634.699,62	100%
Análisis del Costo del Ciclo de Vida, ACCV (A)	\$ 23.190.136,14		\$ 22.626.799,54	

RELACIÓN COSTO/BENEFICIO Y RETORNO DE LA INVERSIÓN

Antes de realizar el diseño detallado del prototipo, es indispensable estudiar la factibilidad del mismo, por lo que es necesario suministrar toda la información pertinente para obtener un flujo de caja proyectado (Tabla 6). Este ayuda a “determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: MAXIMIZAR la inversión” [15]. Para lograr esto, se utilizan los flujos netos de caja, y se afecta por el factor $(1+i)^n$, que permite calcular el V.P.N. para precios corrientes.

Así mismo, se calcula el V.P.N. utilizando los totales de efectivo de entrada y salida para luego determinar la relación costo/beneficio.

Por consiguiente, la relación costo/beneficio es

$$B/C = \frac{\sum V.P.N. (Ingresos)}{\sum V.P.N. (Egresos)} = \frac{\$178.491.589,35}{\$130.783.883,46} = 1,3647$$

La relación de los beneficios sobre los costos es de 1,3647, por lo que hace viable el proyecto debido a que por cada peso gastado se obtendrá \$1,36 de retorno positivo.

Por otro lado, la T.I.R. necesaria para que el V.P.N. sea cero es del 48%, mayor a la tasa de descuento que es del 10%, por lo que garantiza a los inversionistas un rendimiento mayor, al mínimo requerido. Así mismo, el periodo de recuperación de la inversión se da a los 2 años, 2 meses y 15 días.

TABLA 6. FLUJO DE CAJA PROYECTADO

Flujo de caja proyectado - Precios corrientes						
Detalle	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Entradas de efectivo						
Ahorro en operación	\$ 0	\$ 43.776.000	\$ 45.535.795	\$ 47.366.334	\$ 49.270.461	\$ 51.251.133
Total entradas de efectivo	\$ 0	\$ 43.776.000	\$ 45.535.795	\$ 47.366.334	\$ 49.270.461	\$ 51.251.133
Salidas de efectivo						
Costos iniciales	\$ 51.736.747					
Costos operacionales		\$ 15.227.592	\$ 15.839.741	\$ 16.476.499	\$ 17.138.854	\$ 17.827.836
Costos Mtto. preventivo		\$ 992.070	\$ 1.031.951	\$ 1.073.436	\$ 1.116.588	\$ 1.161.475
Depreciación		\$ 3.406.505	\$ 3.406.505	\$ 3.406.505	\$ 3.406.505	\$ 3.406.505
Total salidas de efectivo	\$ 51.736.747	\$ 19.626.168	\$ 20.278.198	\$ 20.956.440	\$ 21.661.947	\$ 22.395.816
Saldo en caja	(\$ 51.736.747)	\$ 24.149.832	\$ 25.120.656	\$ 26.130.506	\$ 27.180.952	\$ 28.273.627
Depreciación		\$ 3.406.505	\$ 3.406.505	\$ 3.406.505	\$ 3.406.505	\$ 3.406.505
Flujo neto de caja	(\$ 51.736.747)	\$ 27.556.338	\$ 28.664.103	\$ 29.816.400	\$ 31.015.019	\$ 32.261.823

DISEÑO DE DETALLE

Para desarrollar el diseño detallado del prototipo se definieron los elementos funcionales y físicos del sistema. Los primeros, describen las operaciones que contribuyen al rendimiento general del sistema; los segundos, las partes y componentes que realizan dichas funciones. Los últimos, han sido sintetizados principalmente por los siguientes módulos: corte, procesamiento, transmisión, almacenamiento y control.

Cada uno de estos módulos está integrado por múltiples elementos físicos diseñados para cumplir con la función requerida. De ahí que se implementara una cuchilla como elemento de corte; la abrasión, como tipo de procesamiento; juego de poleas, correas y engranes para transmitir potencia a la máquina; contenedor en acero inoxidable para retener el gel extraído, y un variador de frecuencia que permita

variar la velocidad del motor según los requerimientos de producción.

Así mismo, se emplearon diversos software de diseño para garantizar el diámetro de los ejes en cada rodillo; así como catálogos que permitieron seleccionar elementos como rodamientos, correas, engranajes y el motor.

La alternativa seleccionada y diseñada en detalle se presenta en la Fig. 4, donde las pencas de sábila se introducen en la tolva superior de la máquina para ser impulsadas por un par de rodillos hacia una cuchilla que las corta en dos mitades; cada mitad de la hoja es redireccionada por un par de rodillos sobre cintas transportadoras, haciéndola incidir sobre el tamiz, logrando de esta manera la extracción de gel. Por último, el gel es almacenado en una bandeja y las conchas son expulsadas. En una segunda fase de este proyecto se fabricará la máquina.

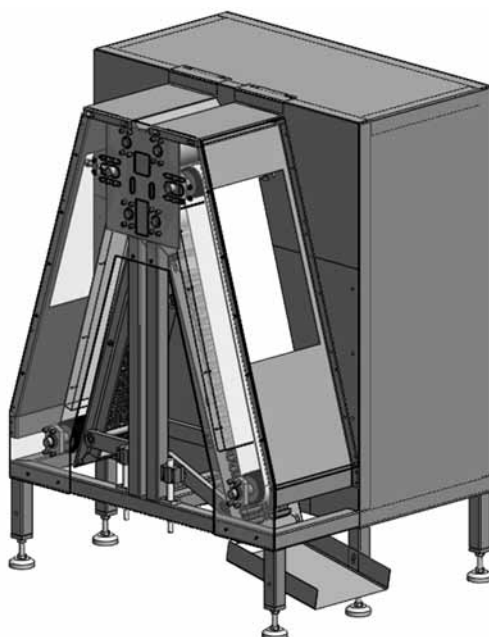


Fig. 4. Prototipo diseñado

CONCLUSIONES

La alternativa 3 estuvo muy poco por encima de la puntuación de la alternativa 1, sin embargo el ACCV confirmó que la alternativa 3 es más factible en los costos que la alternativa 1.

Combinar el ACCV con la metodología de pesos ponderados genera un criterio más conservador para seleccionar alternativas de diseño, debido a que los costos en el ACCV otorgan un fuerte criterio económico para seleccionar la alternativa definitiva.

Implementando la metodología de ACCV se obtuvo un valor del costo total del ciclo de vida para la alternativa escogida de \$192.634.699, que representa la suma de los costos en valor presente de los costos iniciales, mantenimiento mayor, preventivos, fiabilidad y operacionales.

Se estima que el valor de la inversión inicial es de \$51.736.747 para la alternativa seleccionada, y esta se tarda en retornar unos 2 años y 2 meses aproximadamente, por lo que el valor presente neto de la alternativa para este tiempo es de cero pesos.

De acuerdo con investigaciones realizadas, se concluye que el proceso que permite una disminución en la contaminación del gel por la aloína y un mejor aprovechamiento, es el que implementa una operación de corte de la penca y separación del gel por abrasión.

La productividad de este tipo de dispositivos debe ser mayor a 0,2 pencas/seg., garantizando que la alternativa escogida procese 720 pencas/h, sustituyendo el trabajo de cuatro operarios que procesan 180 pencas/h.

REFERENCIAS

- [1] Cadena Nacional Productiva Sábila. *Caracterización del Gremio Sabilero Colombiano*. Tercera Edición. Colombia, Enero 2010, p. 31.
- [2] C. T. Ramachandra and P. Srinivasa Rao, "Processing of Aloe Vera Leaf Gel: A Review", *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* Issue 3, Vol 2, pp. 502-510, 2008.
- [3] T. Cottrell, *Method and Apparatus for Extracting Aloe Vera Gel*. Int. CL.:B30B 9/20. Fecha de solicitud: 6, diciembre, 1982. Estados Unidos, patente de invención. US 4488482. 18, diciembre, 1984.
- [4] W. De Gray, *Aloe Vera Leaf Processor*. Int. CL.:c13c 1/00. Fecha de solicitud: 7, febrero, 1984. Estados Unidos, patente de invención. US 4591387. 27, mayo, 1986.
- [5] L. Tumlinson, *Method and Apparatus for Extraction of Aloe Vera Gel*. Int. CL.: B30B 9/20. Fecha de solicitud: 22, julio, 1983. Estados Unidos, patente de invención. US 4555987. 3, diciembre, 1985.
- [6] H. Xiaozhou, *Aloe Vera Gel Extracting Apparatus*. Int. CL.: B26/D 7/01. Fecha de solicitud: 28, diciembre, 1998. Estados Unidos, patente de invención. US 6117247. 12, septiembre, 2000.
- [7] B. Mcanalley, *For Preparation of Aloe Products*. Int. CL.: A61K 31/715. Fecha de solicitud: 25, junio, 1989. Estados Unidos, patente de invención. US 4957907. 18, septiembre, 1990.
- [8] B. Coats, *Method of Processing Stabilized Aloe Vera Gel Obtained from the Whole Aloe Vera Leaf*. Int. CL.: C07G 17/00. Fecha de solicitud: 10, mayo, 1993. Estados Unidos, patente de invención. US 5356811. 18, octubre, 1994.

- [9] K. T. Ulrich, *Diseño y desarrollo de producto: especificaciones del producto*. Cuarta edición. México: McGraw-Hill Interamericana, 2009, p. 83.
- [10] F. Fuentes, *Confiabilidad operacional de equipos: metodologías y herramientas. Análisis del costo del ciclo de vida*. Universidad de Talca. 2010, p. 60. [online] Disponible en: <http://campuscurico.utalca.cl/~fespinos/ANALISIS%20CAUSA%20RAIZ%20y%20sus%20herramientas.pdf>
- [11] C. Parra and A. Crespo, Asociación Española de Calidad. *Consideraciones sobre el impacto económico de la "confiabilidad", en el análisis de costos de ciclo de vida de un activo de producción. Revisión de modelos básicos*. Universidad de Navarra, 2007, p. 10.
- [12] M. García, V. Cloquell and T. Gómez, *Metodología del diseño industrial*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, p. 141. ISBN: 84-9705-024-X.
- [13] M. García and I. José. *Fundamentos del diseño mecánico: "Diseño en Ingeniería"*. Colombia: Artes Gráficas del Valle, pp. 11-15.
- [14] W. Velilla et al., "Metodología de diseño conceptual para la selección de un sistema manipulador de tambores para camiones de carga". En: *Prospectiva*. Vol. 8, enero-junio de 2010, pp. 53-62.
- [15] J. D. Vaquiro, *Pymes Futuro: El Valor Presente Neto - VPN*. Disponible en: <http://www.pymesfuturo.com/vpneto.htm> (Noviembre, 2011).

