

DISEÑO DE MÁQUINA PARA ENSAYOS MECÁNICOS PARA HOJA DE ALOE VERA

Design of machine for mechanical tests for leaves of Aloe Vera

RESUMEN

Una de las principales dificultades que se tienen actualmente para diseñar localmente máquinas y herramientas para la extracción de gel de la planta de Aloe Vera, es el desconocimiento de las propiedades mecánicas de sus hojas.

En este documento se presenta de manera general la metodología y los resultados obtenidos en el proceso de diseño y construcción de una máquina para la evaluación de la resistencia a la penetración y la resistencia a la compresión de las hojas de Aloe Vera.

PALABRAS CLAVES: Aloe vera, Máquina para Ensayos mecánicos, Metodología de diseño.

GIOVANNI TORRES CHARRY

Ingeniero Mecánico, M.Sc.

Profesor asistente

Universidad Tecnológica de Pereira

gtorres@utp.edu.co

ALEJANDRO OZAETA

Ingeniero Mecánico.

alejandrazaeta@gmail.com

ABSTRACT

One of the main difficulties that exist in order to design tools and machines to extract gel from plants of Aloe Vera is the lack of knowledge of the mechanical properties of the Aloe Vera leaves. In this document is presented in a general way the methodology and the results obtained in the design process and construction of a machine for the evaluation of the resistance to the penetration and the resistance to the compression of the leaves of Aloe Vera.

KEYWORDS: *Aloe Vera, Design methodology, Mechanical test machines.*

1. INTRODUCCIÓN

El gel es el producto principal que se desea extraer de las hojas de la planta de Aloe Vera; este se encuentra en la zona interior, protegida por una gruesa y robusta piel. En una capa intermedia, entre la piel y el gel interior, se encuentra un recubrimiento fibroso compuesto de una serie de componentes tóxicos, destacándose el látex conocido como aloína; la contaminación por aloína se presenta cuando al extraer el gel se hace junto con la capa que contiene este látex, rompiéndola y liberándolo para mezclarse con el gel, lo cual suele ocurrir con las distintas técnicas que implican el corte de la hoja y raspado de la misma, problema que no suele presentarse con las técnicas manuales de extracción. Hay que tener en cuenta que los productos de aloe que se desarrollan comercialmente para ser ingeridos no deben presentar concentraciones de aloína superiores a 50 ppm, según legislaciones europeas¹ y que en Colombia aplica según el radicado del Invima 07009625.

Aunque los problemas de contaminación del producto por aloína son mínimos cuando la extracción se hace de manera manual, los volúmenes y la disponibilidad en el tiempo que exige el mercado hacen que esta opción no sea la más viable y se hace necesario el uso de sistemas y

máquinas que realicen de manera eficiente y confiable la extracción del gel y de los subproductos de esta operación. Dado que los recursos económicos de las asociaciones de productores en nuestro país generalmente son limitadas y de que no existen este tipo de máquinas para el rango de producción local, es necesario desarrollar estos sistemas y máquinas de tal manera que se adecúen a las características de las hojas de sábila de la región y a sus valores de producción particulares; esto demandará establecer de forma apropiada las características y propiedades de las hojas de Aloe Vera, además de su comportamiento ante diferentes métodos mecánicos de extracción.

En este trabajo se presenta el resumen del desarrollo de una máquina de pruebas para la evaluación de la resistencia a la penetración y la resistencia a la compresión de las pencas de Aloe Vera; la máquina es uno de los resultados a obtener del proyecto “*Caracterización mecánica de la hoja de aloe y diseño de máquinas para la extracción y transformación de gel de aloe vera*”, financiado por Colciencias. La resistencia a la penetración es la propiedad de los materiales a no dejarse penetrar o rayar, mientras que la resistencia a la compresión está relacionada con el cálculo de las presiones adecuadas en procesos de compresión para obtener una alta eficiencia de extracción; construida la máquina se espera que con los resultados que se obtengan

¹ Limite aceptado por la Internacional Aloe Science Council.

de la evaluación de estas propiedades mecánicas se puedan diseñar de manera confiable mecanismos y máquinas para el corte y la extracción de gel por métodos compresivos.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el desarrollo de la máquina incluyó un análisis teórico de las variables relevantes en el proceso de extracción de gel de Aloe Vera por métodos compresivos, una vez identificados estos parámetros se aplicó una metodología de diseño estructurada que condujo al prototipo virtual y a la documentación del diseño; finalmente se construyó la máquina y se efectuó su validación.

2.1. Análisis teórico del proceso de extracción de gel por métodos compresivos.

Se espera que en el desempeño de un proceso de extracción de gel por métodos compresivos, además del principio de operación de la máquina, intervengan fuertemente las características físicas y mecánicas de la hoja de Aloe Vera; se realizó una búsqueda de información en este sentido, sin embargo fue muy poca la información que se pudo encontrar disponible o de acceso público al respecto.

Agotada la búsqueda bibliográfica específica, se decidió hacer una revisión de algunas patentes de máquinas para la extracción de gel de aloe vera; el objetivo era determinar cuáles son las propiedades mecánicas que pueden influir considerablemente en cada uno de los mecanismos de extracción consultados [1], [2], [3], [4], [5]. También se revisaron algunos documentos que explican el desarrollo y resultados de ensayos para la determinación de propiedades mecánicas en frutas, con el fin de obtener una base teórica que permita asumir similitudes mecánicas entre los frutos investigados y la hoja de aloe vera.

Extracción por compresión

En el principio de extracción por compresión se realiza inicialmente el corte y separación de secciones críticas de la hoja que son fuente importante de aloína [6], como son: el peciolo, los bordes espinosos y la punta. Posteriormente se comprime la hoja para extraer el gel de aloe, siendo este proceso efectuado por diferentes dispositivos tales como: rodillos compresores, bandas compresoras o placas compresoras.

De este proceso se identificaron como determinantes del desempeño, las siguientes propiedades mecánicas y dimensionales de la hoja de Aloe vera:

- Resistencia a la penetración
- Resistencia a la compresión
- Grosor máximo de la corteza

- Ancho máximo de la hoja
- Espesor máximo de la hoja

Resistencia a la penetración: es una propiedad de los materiales a no dejarse penetrar o rayar, es decir que a mayor dureza menor penetración. La resistencia a la penetración de la hoja de Aloe Vera influye en la determinación del material y el filo de la herramienta de corte que se debe emplear para realizar la incisión de la punta, el peciolo y las espinas laterales, paso preliminar en la mayoría de los procesos de extracción por compresión; influye además, en el establecimiento de la velocidad y la fuerza requeridas en la operación.

Por otro lado, la magnitud de la velocidad de corte determina si la primera incisión de la herramienta produce sobre la hoja de sábila un efecto de impacto o de penetración; esto es importante debido a la variación de esfuerzos generados en estos dos tipos de efectos, siendo el impacto el causante de mayores esfuerzos que repercuten en los soportes de los elementos cortantes y en su vida útil. Se espera que a una mayor resistencia a la penetración de la corteza (superficie a cortar) se requiera una menor velocidad de corte.

Se cree que la fuerza de corte puede variar de acuerdo a la parte estructural de la hoja (corteza y cristal) en la que se realiza el proceso; este efecto ha sido observado en la prueba de firmeza aplicada en bananos [7], la cual muestra una fuerza pico para la penetración de la corteza y una fuerza promedio en la penetración de la pulpa.

Resistencia a la compresión: Esta propiedad será utilizada para la determinación de las presiones adecuadas para, sin llegar a deteriorar los capilares, alcanzar una alta eficiencia de extracción. Los capilares son conductos que transportan aloína, sustancia vital para el crecimiento de la planta, que durante el proceso de extracción promueve la oxidación del gel, deteriorando su calidad [8].

La resistencia a la compresión, permitirá también establecer algunos aspectos constructivos de la máquina, como son materiales y elementos mecánicos que estarán sometidos a esfuerzos considerables durante el proceso de compresión.

La velocidad de compresión puede jugar un papel importante en el proceso de extracción, influyendo en la eficiencia y rapidez del procedimiento, sin embargo, de acuerdo a las pruebas de compresión realizadas en tomates de árbol [9], la velocidad del ensayo no influyó significativamente en la resistencia a la compresión, por lo que es necesario un desarrollo experimental para determinar el efecto de este factor en el proceso de extracción de gel de Aloe Vera.

Grosor máximo de la corteza: el grosor es una dimensión que permite determinar la separación mínima de los elementos compresores, pues es de esperar que en

la etapa de compresión no se alcance a remover todo el cristal de la corteza; normalmente la separación de estos componentes no es modificable, quedando algunos trozos que no logran ser comprimidos debido a la variabilidad del grosor de la corteza.

Espesor máximo de la hoja: es otra dimensión de la hoja que determina algunos aspectos constructivos del dispositivo de extracción de aloe tales como la distancia de apertura entre las bandas compresoras cuando el proceso utilice dichos elementos o la separación entre los rodillos compresores; también es clave para la terminación de los elementos de alimentación de las hojas a la máquina de extracción.

Ancho máximo de la hoja: esta dimensión de la hoja permite establecer el ancho adecuado de los elementos compresores en función de la cantidad de pencas simultaneas que se quieran procesar y del espacio adicional que debe proveerse a cada lado de la hoja, para abarcar un área adecuada donde sean comprimidos los cristales que han sido desplazados por el gel.

Longitud máxima de la hoja: esta dimensión define algunos aspectos constructivos de la máquina de extracción de acuerdo al tipo elemento compresor que realice el proceso; particularmente si el dispositivo compresor utilizado es una placa plana, es necesaria la inclusión de esta magnitud en el diseño de la maquina.

2.2. Diseño del equipo de pruebas

Para el diseño de la máquina de pruebas se siguió la metodología de diseño propuesta por Pahl y Beitz.

2.2.1. Identificación de las necesidades

Habiendo sido identificadas las características mecánicas de la hoja de Aloe Vera relevantes para el proceso de extracción, se establecieron las necesidades que debía suplir la máquina desde el punto de vista de los futuros usuarios. Estas necesidades fueron agrupadas y categorizadas según se muestra en la tabla 1.

Categorización de las necesidades	Importancia %
La máquina es fácil de ajustar y operar	13,2
la máquina tiene un alto desempeño	10,5
La máquina presenta bajos costos	10,5
La maquina es de uso agradable	7,9
La máquina es de fácil transporte y almacenamiento	10,5
La máquina es durable	13,2
La máquina es de fácil mantenimiento e instalación	13,2
La máquina es segura	13,2
La máquina es amigable con el medio ambiente	7,9
Total	100,0

Tabla 1. Categorización de las necesidades

2.2.2. Desarrollo de las especificaciones

El gel de Aloe Vera se puede considerar como un material viscoelástico, es decir que bajo ciertas condiciones de carga exhibe simultáneamente las propiedades viscosas propias de un líquido y las elásticas, características de un sólido.

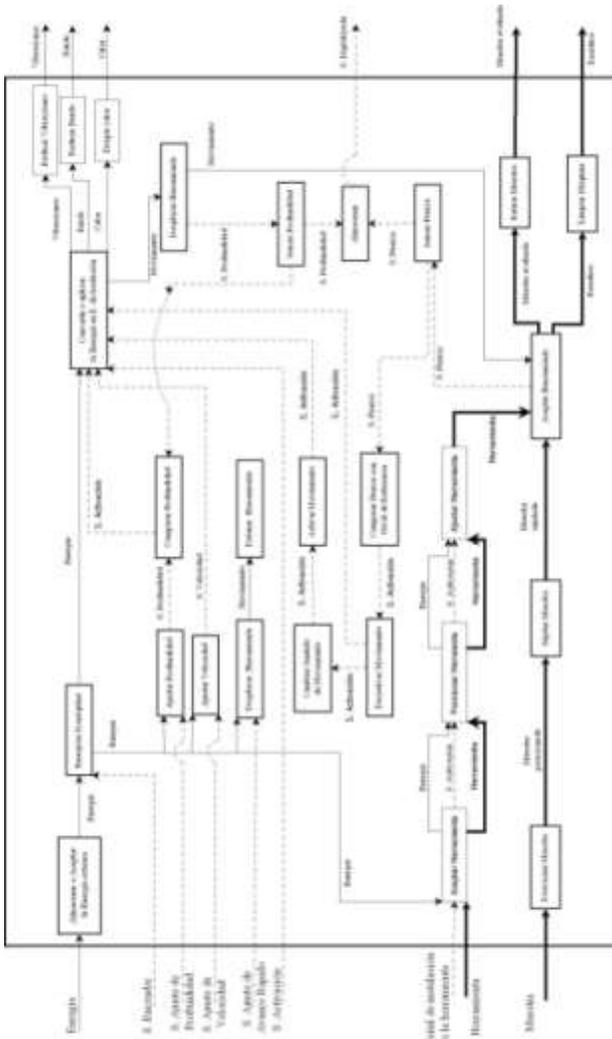
Con las necesidades establecidas y categorizadas, se realizó una búsqueda exhaustiva de información referente a sistemas que realizan procesos similares de compresión y penetración en materiales viscoelásticos; se encontraron varios trabajos científicos en los que se reportaban pruebas mecánicas a diferentes tipos de frutas, verdura y hortalizas. Se exploraron también los catálogos de información técnica que proveen los fabricantes de analizadores de texturas y penetrómetros para frutas, donde se explican las características de funcionamiento, los rangos de fuerza y velocidad aplicadas en la pruebas que realizan dichas maquinas. Con la información obtenida y mediante un trabajo de discusión al interior del equipo de diseño se establecieron las especificaciones para el diseño, algunas de estas se muestran en la tabla 2.

Medida	Unidad	Valor deseado	Valor marginal
Número de pasos para la sujeción de penca	entero	3	5
Número de pasos requeridos para la ejecución del ensayo	entero	8	15
Fuerza requerida para el ajuste de los parámetros	N	2	10
Número de pasos requeridos para el ajuste de los parámetros	entero	2	5
tiempo requerido para la parada del ensayo	s	0,01	0,1
Fuerza requerida para la parada del ensayo	N	2	10
Numero de pasos requeridos para detener el ensayo	entero	1	3
tiempo de funcionamiento sin conexión a una fuente de energía	min	30	5
periodo máximo de uso sin realizar mantenimiento	horas	900	500
porcentaje de elementos estandarizados que posee la maquina	%	80	60
fuerza de accionamiento de la maquina	N	2	10
volumen que ocupa la maquina	cm x cm x cm	60 x 50 x 40	70 x 50 x 50
Peso de la máquina	N	200	400
tiempo requerido para el desensamble parcial	min	30	90
Número de herramientas requeridas para el desensamble parcial	entero	2	6

Tabla 2. Subconjunto de especificaciones de diseño

2.2.3. Descomposición funcional

Para identificar las funciones que debería poseer la máquina de ensayos, se creó un modelo mediante la



teoría de la caja de cristal, esta se muestra en la figura 1.

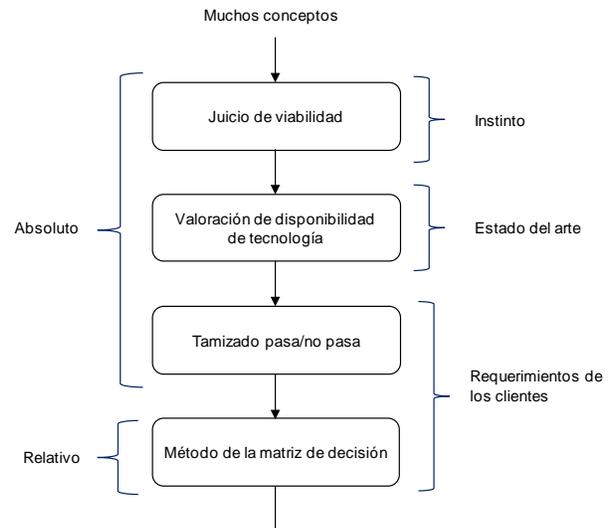
Figura 1. Modelo de caja de cristal para la máquina de ensayos

2.2.4. Desarrollo de conceptos de solución

De acuerdo al modelo de la caja de cristal se establecieron las subfunciones que debe realizar la máquina de pruebas (AMTM100). Para determinar que subsistemas, mecanismos o elementos podrían dar solución a cada una de estas subfunciones se utilizaron varias técnicas de creatividad y metodologías de conceptualización; el resultado fue un número muy grande de posibles conceptos de solución; para reducir esta cantidad de posibles soluciones se aplicó una técnica de evaluación de concepto que permitiera eliminar los conceptos menos viables de cada una de las subfunciones y aquellas funciones que a pesar de ser necesarias, su operación no incide fuertemente en el desempeño de la máquina, esta técnica es esbozada en la tabla 2.

Esta metodología que ayuda a tomar una decisión con limitada información, utiliza cuatro técnicas diferentes para reducir la cantidad de conceptos generados a unos pocos conceptos más promisorios para ser desarrollados en productos de calidad.

Figura 2. Técnica de evaluación de concepto



El proceso de eliminación inicial condujo a 3 posibles soluciones cuya diferencia principal estaba centrada en el sistema que suministraba el movimiento y la fuerza al indentador. Realizada una segunda valoración a estas soluciones, teniendo como criterios de medida la facilidad en el diseño, la facilidad de construcción y mantenimiento, los costos y la portabilidad, se estableció que la mejor opción, era aquella que comprendía el uso de un motor eléctrico de baja potencia acoplado a un tornillo de potencia.

2.2.5. Cálculo del sistema de potencia

Una de las funciones más importantes para el funcionamiento de la máquina es la que le provee el movimiento y la fuerza al indentador, esta función para la solución seleccionada es cumplida por un sistema motor-tornillo de potencia.

Cálculos de diseño del tornillo de potencia

Datos del motor seleccionado:

Potencia *P*: 70W

Velocidad ω : 20 – 120 rpm

Las ecuaciones para el cálculo del tornillo (Ec. 1 a 4) son tomadas de Shigley [10].

El torque que produce el motor está determinado por:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (1)$$

Por lo que el valor del torque que puede transmitir el motor es:

$$5,55 \text{ N.m} \leq T \leq 33,33 \text{ N.m}$$

El torque en un tornillo de potencia con un solo soporte esta dado por:

$$T = \frac{f d_m}{2} \left(\frac{1 + \mu \pi d_m \sec(\alpha)}{\pi d_m - \mu N p \sec(\alpha)} \right) + \frac{f \mu_c d_c}{2} \quad (2)$$

Donde

f : Fuerza axial aplicada

μ : Coeficiente de fricción entre el tornillo y la tuerca

α : Ángulo de la hélice, para rosca cuadrada $\alpha = 0$

μ_c : Coeficiente de fricción entre el tornillo y su soporte (rodamiento)

d_c : Diámetro del agujero del rodamiento

Dado que el tornillo esta soportado por dos rodamientos la ecuación de torque queda de la siguiente manera:

$$T = \frac{f d_m}{2} \left(\frac{1 + \mu \pi d_m}{\pi d_m - \mu N p} \right) + \frac{f \mu_{c1} d_{c1}}{4} + \frac{f \mu_{c2} d_{c2}}{4} \quad (3)$$

De la cual se obtiene que la fuerza axial es:

$$f = \frac{T}{\frac{d_m}{2} \left(\frac{1 + \mu \pi d_m}{\pi d_m - \mu N p} \right) + \frac{\mu_{c1} d_{c1}}{4} + \frac{\mu_{c2} d_{c2}}{4}} \quad (4)$$

El valor del coeficiente de fricción entre el tornillo (acero) y la tuerca (bronce), se tomo el mas crítico reportado en la literatura técnica ($\mu = 0,21$). Para los rodamientos se utiliza los valores recomendados por SKF; para el rodamiento inferior (rígido de bolas) $\mu_{c1} = 0,0015$ y para el rodamiento superior (contacto angular de doble hilera) $\mu_{c2} = 0,0024$. Reemplazando en la ecuación 4 estos valores, los valores dimensionales del tornillo y de los rodamientos, se obtiene la fuerza axial que transmitirá el tornillo:

$$f_{\min} = 33,74 \text{ N}$$

$$f_{\max} = 202,67 \text{ N}$$

A una velocidad de 20 rpm la fuerza a transmitir es de 202,67 N, la cual se considera suficiente para los ensayos mecánicos planeados para la hoja de Aloe Vera; así mismo con un paso de 6 mm en el tornillo, la velocidad lineal mínima del indentador será de 2 mm/s que corresponde a la velocidad establecida para los ensayos.

2.2.6. Prototipo virtual y comunicación del diseño

De los conceptos seleccionados se pasó al prototipo virtual de la máquina, para esto se utilizó el software SolidWorks 2010. La importancia del uso de software tipo CAD radica en la posibilidad de revisar y hacer los cambios al diseño de detalle de manera ágil, de igual manera es importante la actualización automática de los planos cuando estos cambios se efectúan. En la figura 2 se presentan una imagen del prototipo generado con el software.



Figura 2. Prototipo virtual de la máquina de ensayos

Verificado el prototipo virtual en cuanto a sus características dimensionales, de resistencia y operacionales, se generaron los planos de detalle y ensamble para su construcción. En la figura 3 se presenta un plano típico generado.

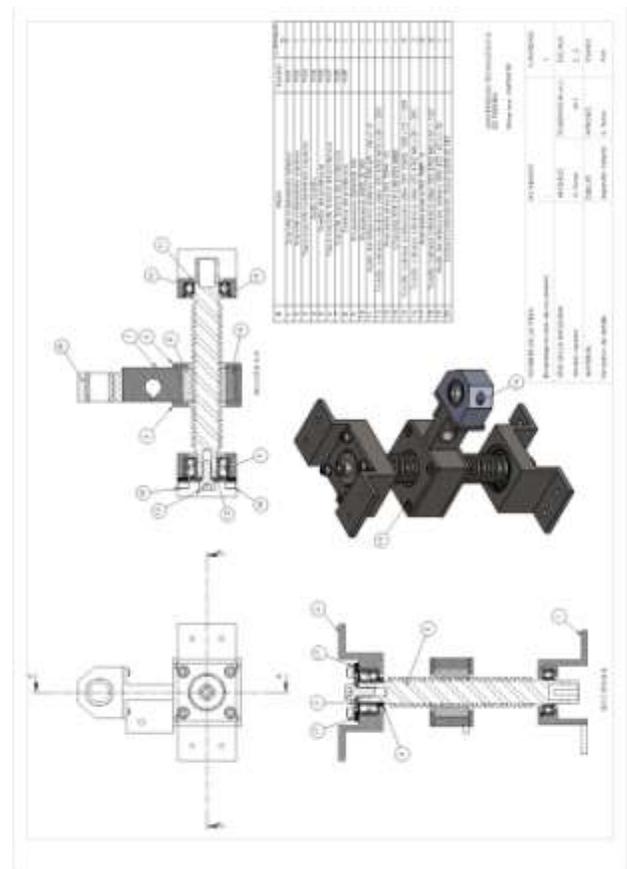


Figura 3. Módulo de movimiento de la máquina de ensayos

2.3. Construcción de la máquina

La construcción de la máquina fue contratada a una empresa metalmeccánica de la región, en la figura 4 se

presenta la máquina en proceso de pre ensamble para su verificación.

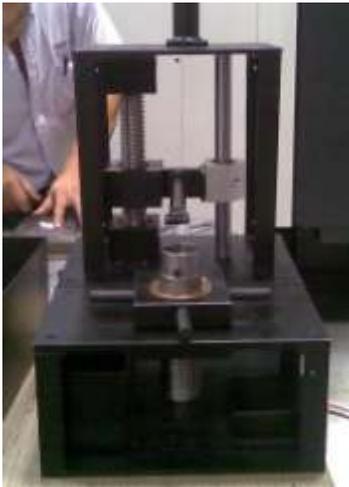


Figura 4. Máquina AMTM100 en proceso de construcción

Una vez finalizada la construcción de la máquina, se agregaron los elementos de control y los sensores y se realizaron varias pruebas de validación. La máquina se encuentra lista para su uso.

3. RESULTADOS

Se tiene una máquina portable, debidamente instrumentada y validada para ser utilizada en la realización de pruebas de resistencia a la penetrabilidad y resistencia a la compresión de las hojas de Aloe Vera. La máquina es segura, tiene bajo consumo de potencia y su uso y mantenimiento no requiere grandes conocimientos ni inversiones elevadas.

Para cada una de las pruebas, los valores de fuerza y desplazamiento son almacenados en un datalogger; estos deberán después ser trabajados estadísticamente para presentar sus resultados tabulados o gráficamente.

Con esta máquina se espera poder determinar de manera formal dos propiedades que se consideran críticas en el desarrollo de herramientas y mecanismos para la transformación primaria de las hojas de Aloe Vera.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Existen varios métodos para extraer el gel de la penca de Aloe vera, en nuestro medio el más utilizado es el que se hace por medios manuales. Industrialmente parece ser que el que más simplicidad práctica presenta es el que se hace utilizando elementos compresores.

La determinación de la penetrabilidad y la compresibilidad debe hacerse con máquinas que permitan controlar y medir los parámetros de la prueba de manera adecuada en cada una de corridas; la máquina AMTM ha sido diseñada con este propósito y se espera que su uso

permita determinar estas dos propiedades críticas en el desarrollo de herramientas y mecanismos para la transformación primaria de las hojas de aloe vera.

Lo más importante en el proceso de diseño es la determinación de las necesidades de los clientes, este es el punto de partida que se vuelve central en las fases posteriores del proceso.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] X. Huang, "Aloe Vera gel extracting apparatus". U. S. Patent 6 117 247, Sep. 12, 2000.
- [2] D. Thompson, "Aloe Vera plant gel separator". U. S. Patent 4395942, Aug. 2, 1983.
- [3] L. N. Tumlinson, "Method and apparatus for extraction of Aloe Vera gel". U. S. Patent 4555987, Dec. 3, 1985.
- [4] T. A. Cottrell, "Method and apparatus for extracting Aloe Vera gel". U. S. Patent 488482, Dec. 18, 1984.
- [5] W. G. De Gray, "Aloe Vera leaf processor". U. S. Patent 4591387, May 27, 1986.
- [6] B. C. Coats, "Method of processing stabilized Aloe Vera gel obtained from the whole Aloe Vera leaf". U. S. Patent 5356811, Oct. 18, 1994.
- [7] V. Ciro, L. Montoya, y C. Millán, "Caracterización de propiedades mecánicas del banano (cavendish valery)". *Revista Fac.Nal.Agr.Medellín*. Vol.58, No.2. p.2975-2988. 2005.
- [8] F. Macías, et al. "Propiedades físicas, estructurales y análisis de crecimiento de la sábila (aloe spp)". *Revista de Geografía Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo*. Número 038. Texcoco, México. pp. 41-54. Enero-junio. 2007
- [9] V. Ciro, M Vahos, y C. Márquez, "Estudio experimental de la fuerza de fractura en frutas tropicales: el tomate de árbol (cythomandra betacea sendt)". *Dyna*, julio, año/vol. 72, número 146. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. pp. 55-64. 2005.
- [10] R. G. Budynas y J. K. Nisbeth. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. 6 ed., México: McGraw Hill, 2008, pp. 400-408.