

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MOLINO PARA NOPAL

Magdaleno Caballero Caballero, Luis Silva Santos, Isai López Hernández, Armando José José, José L. Montes Bernabé, Carlos I. Cortés Martínez, Rey F. García Méndez
 Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional
 Hornos No. 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, C. P. 71230 Oaxaca, México.
 Tel. y fax: (951) 51 70610 y (951) 51 71199
 mcaballero@ipn.mx, luis63ss@yahoo.com, isai_lh@hotmail.com, jozoyno@hotmail.com, jlmberna66@yahoo.com.mx, solemia7@hotmail.com, reyklel@hotmail.com

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo del diseño y construcción de un prototipo de molino de corte radial de nopal *Opuntia Ficus-Indica* para realizar pruebas experimentales de obtención de pasta granulada. La operación inicia haciendo avanzar el nopal sobre una superficie inclinada que aprovecha la gravedad para entrar en contacto con 37 discos dentados girando montados sobre un eje. El producto obtenido es una pasta granulada que presenta una humedad de 93%, el tamaño de grano se estima de 2 a 0.075 mm. Los discos dentados fueron maquinados en acero inoxidable AISI 304. La potencia de un motor eléctrico de 3.71 kW se transmite a los discos por un sistema de dos poleas acopladas con un par de bandas para transmitir la fuerza motriz y la velocidad requerida hacia el eje de los discos dentados. En las pruebas de evaluación, se estimó un rendimiento de 250 kg por hora.

ABSTRACT

This paper presents the development of the design and construction of a prototype mill for the radial cutting of *Opuntia Ficus Indica* nopal to carry out experimental tests to obtain granulated paste. The process begins with the nopal advancing down an inclined surface under gravity and then coming into contact with 37 spinning toothed disks mounted on an axis. The product obtained is a granulated paste with a humidity of 93%. The grain size is estimated at between 2 to 0.075 mm. The toothed disks were machined in stainless steel AISI 304. The power of a 3.71 kW electric motor is transmitted to the disks by a system of two pulleys coupled with a pair of belts to transmit the force of the motor and the velocity required to the axis with the toothed disks. In evaluative tests, the performance was estimated at 250 kg per hour.

NOMENCLATURA

V_{eje}	velocidad de eje de los discos de corte, rpm	M_x	momento flexionante máximo en el plano horizontal, Nmm
P_{real}	potencia real, watts	M_y	momento flexionante máximo en el plano vertical, Nmm
E	voltaje en las líneas de alimentación al motor, volts	d	diámetro del eje, mm
I_l	máxima demanda de corriente, Amp	η	factor de seguridad
P_{req}	potencia requerida de corte, watts	S_y	resistencia de fluencia para acero inoxidable AISI 304, Mpa
T	par torsor en el eje, Nmm	\emptyset	diámetro externo de los discos de corte, mm
F^t	fuerza tangencia en el eje de los discos, N	θ	diámetro de la sección del eje para el montaje de discos, mm
F^r	fuerza radial en el eje de los discos, N	π	constante, adimensional
M	momento flexionante total, Nmm	x, y, z	ejes cartesianos
V_i	fuerza cortante, N	RI	reacción en la chumacera 1
$y-z$	plano y-z		
$z-x$	plano z-x		
M_i	momento flexionante, Nmm		

$R1x$	reacción en la chumacera en dirección x,	$a1$	distancia entre R1 y la carga de los discos de corte, mm
N		$a2$	distancia entre la carga de los discos de corte y R2, mm
$R1y$	reacción en la chumacera en dirección y,	$b1$	distancia entre R2 y la carga de la polea, mm
N		$b2$	distancia entre la carga de la polea y R3, mm
$R2$	reacción en la chumacera 2	$L1$	distancia entre R1 y R2, mm
$R2x$	reacción en la chumacera 2 en dirección x, N	$L2$	distancia entre R2 y R3, mm
$R2y$	reacción en la chumacera 2 en dirección y, N	i	subíndice (1, 2, ... n)
$R3$	reacción en la chumacera 3	b	largo del diente
$R3x$	reacción en la chumacera 3 en dirección x, N	v	velocidad de alimentación al sistema
$R3y$	reacción en la chumacera 3 en dirección y, N	n	numero de dientes en disco
		ω	velocidad angular del disco

INTRODUCCIÓN

Los nopales (*Opuntia* spp.) pertenecen a la familia botánica de las cactáceas, plantas de tallos carnosos nativas del continente americano y en particular de América tropical [23], [24]. México es el país que cuenta con el mayor número de especies de nopales silvestres y cultivados a nivel mundial [8]. Entre los que puede mencionarse al nopal de castilla (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill). Asimismo, México es el principal productor de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill), con 136 099 toneladas.[1] y la principal entidad productora es el Distrito Federal con 64 123 toneladas. [24].

La descripción física de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill es la siguiente: no tiene espinas, es un vegetal arborecente de 3 a 5 m de alto, su tronco es leñoso y mide entre 20 y 50 cm de diámetro. Forma artículos oblongos (Pencas o Cladodios) de 30 a 60 cm de largo, 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor. El Cladodio es un segmento de un tallo de las especies de los géneros *Opuntia* spp. y *Nopalea* spp. de forma aplanada, provisto de hojas reducidas temporales, gloquidias (ahuates) y espinas en puntos específicos denominadas areolas [10].

El valor alimentario del nopal como hortaliza es intermedio entre la lechuga y las espinacas, en cuanto a su contenido de fibra presenta valores de 2 a 11% (base húmeda); la presencia de vitaminas se caracteriza por su elevado contenido de b-caroteno (260 mg/100 g) y contiene calcio, potasio, fósforo, y sodio [13][3], [12][16], [18]. De los cladodios del nopal se obtiene harina [6], el cual es usada en productos alimenticios, [20][21], [22] y tiene aplicación en las industrias panificadoras, galletería y pastas o bien en la de fibras dietéticas peletizadas [7] y de productos lácteos como el yogurt [11].

Esta aplicación resulta muy importante en virtud de que el consumo de fibras tipo soluble representa una mejoría significativa de los procesos digestivos de las personas afectadas por estreñimiento [2], y el nopal es una fuente importante de este tipo de fibras con aproximadamente el 20% [14]. La harina de nopal se obtiene por deshidratación y molido de los cladodios, previamente desespinados, lavados y cortados [10], [17][24], [25].

Una comunidad de productores de la población de Milpa Alta, Distrito Federal, México ya empieza a aprovechar esta materia prima para obtener harina de nopal. Sin embargo, en la etapa de corte la materia prima es cortada a mano en tiras como se muestra en la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, lo que hace de esta etapa un trabajo agotador para los productores y donde los rendimientos son bajos.

Existen en el mercado procesos industriales que primeramente desespinan el nopal removiendo la espina y la aureola del nopal y son contruidos de acero inoxidable tipo 304 entre otros materiales, la segunda parte del proceso es la picadora de nopal que complementa a la desespinaadora, y opera en forma independiente [5]. El precio en el mercado nacional de una máquina para hacer harina de nopal deshidratado oscila entre los \$12 960.00 y los \$16 000.00 M. N. dependiendo de la capacidad que se requiera [9].

Las pequeñas comunidades de productores que buscan su incursión en el aprovechamiento del nopal, para la obtención de harina de nopal, ve limitado el acceso a estas tecnologías que le permitirían potencializar la comercialización de su producto. Por esta razón y con el objeto de innovar sus rendimientos, solicitaron al CIIDIR por mediación del CEPROBI, el desarrollo de la tecnología para procesar esta materia prima.

Este trabajo se enfocó principalmente en diseñar el sistema de corte del nopal, fabricando y probando seis modelos funcionales del sistema de corte para construir un prototipo de molino y procesar los cladodios de nopal *Opuntia ficus-indica* en estado verde para obtener la pasta granulada que se utiliza en la elaboración de harina de nopal, evaluando las características, posición y velocidad de la herramienta de corte, sentido y posición de la alimentación del nopal al sistema.

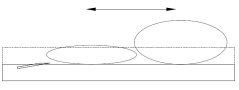
METODOLOGÍA

1. Especificaciones para el diseño.- Inicialmente los productores de la población de Milpa Alta, D. F. , solicitaron un equipo para el corte en tiras de nopal, cuyas características necesarias que debiera cumplir la maquina cortadora a diseñar son: Capacidad requerida: 1000 kg de nopal por hora, sin descartar una mayor producción en el futuro. El mecanismo de corte deberá ser capaz de procesar cladodios de nopal *Opuntia Ficus Indica* y obtener tiras uniformes de 50 a 60 cm de longitud, espesor de 0.7 cm y ancho de 7 a 9 cm. La tercera fue evitar la contaminación del producto, empleando material higiénico adecuado como pueden ser aceros inoxidables, aluminio y plásticos. El espacio determinado para la maquina es de 2 m 2 m, sin limitación en la altura, fue la cuarta condicionante.

Se realizo una revisión de los equipos ofrecidos en el mercado nacional, los resultados fueron que el precio en el mercado nacional de una máquina para hacer harina de nopal deshidratado oscila entre los \$12 960.00 y los \$16 000.00 M. N. dependiendo de la capacidad que se requiera [9]. Existen además procesos industriales que primeramente desespinan el nopal removiendo la espina y la aureola del nopal y son contruidos de acero inoxidable tipo 304 entre otros materiales, la segunda parte del proceso es la picadora de nopal que complementa a la desespinaadora, y opera en forma independiente [5].

2. Propuestas de solución.- Para determinar el sistema adecuado para el corte del nopal se evaluaron los siguientes aspectos: 1) Características de la herramienta de corte, 2) Posición de la herramienta de corte, 3) Velocidad de la herramienta de corte y 4) Sentido y posición en la entrada del nopal. Las diferentes soluciones planteadas se muestran en la Tabla 1. Estas soluciones fueron evaluadas por medio de pruebas, utilizando cladodios de nopal verde. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 1. Soluciones experimentadas para corte y molienda de nopal opuntia.

Soluciones	Herramienta de corte	Nopal	Posición del nopal	Grafica
Solución 1 (Canal rectangular con cuchilla transversal)	Cuchilla fija angulada.	Manual con Movimiento alternativo para corte en rebanadas	Horizontal/ vertical	

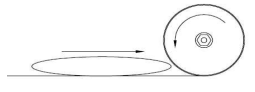
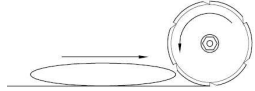
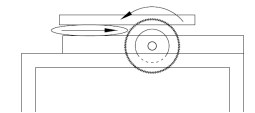
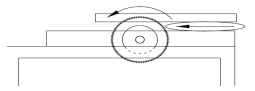
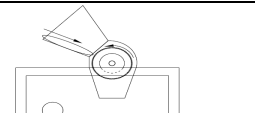
Solución 2 (2 Discos con circunferencia afilada)	Disco de circunferencia afilado giratorio en un eje	horizontal con avance manual	Horizontal y transversal a la herramienta de corte	
Solución 3 (Disco de 6 muescas circunferenciales)	Disco dentado giratorio en un eje	Horizontal con avance manual	Horizontal y transversal a la herramienta de corte	
Solución 4 (37 discos dentados, separación entre discos 6,35 mm)	Disco giratorio de 100 dientes	Alimentación manual en dirección contraria al giro de la herramienta de corte	Horizontal Y transversal a la herramienta de corte	
Solución 5 (37 discos dentados, separación entre discos 6,35 mm)	Disco giratorio de 100 dientes	Alimentación orientada en dirección de giro de la herramienta de corte.	Horizontal	
Solución 6 (37 discos montados conjuntamente)	Disco giratorio de 100 dientes	Caída por peso y gravedad con ligero empuje manual	inclinado 36°	

Tabla 2. Evaluaciones de las seis diferentes soluciones

Evaluación	
Numero de soluciones	Resultados
1	a) al cortar las diferentes muestras de nopal se presenta dificultad para la manipulación a medida que se hace más delgada la muestra. b) el mucílago en la muestra queda expuesto y presenta una rápida oxidación c) Esta solución ofrece una baja capacidad de producción
2	a) el ángulo de filo de los discos no logra cortar totalmente el material b) se propone realizar unas muescas o dientes sobre el ángulo de filo de los discos
3	a) es necesario realizar más dientes al filo de los discos para que el corte rompa totalmente la estructura del nopal, b) es necesario realizar una rejilla con el espacio necesario para que se introduzca una parte de la circunferencia de los discos
4 y 5	a) la evaluación mostró que debido al contacto entre el disco de corte y el nopal, existe el desgarramiento del material, b) origina pérdidas en el aprovechamiento del nopal c) se rediseñó el sistema.
6	a) la tolva es muy amplia existen algunos desprendimientos mínimos del nopal hacia el exterior, b) La pasta granulada obtenida presenta características físicas que permitieron efectuar un secado al sol para ser molido en una 2ª fase y obtener polvo de nopal. c) El producto final presenta una apariencia y coloración física semejante al requerido por los usuarios finales. d) es necesario realizar un análisis técnico sobre el diseño del eje, ya que éste se encarga de recibir y transmitir la potencia al sistema de discos

2.1. Selección.- De las seis soluciones de diseño mencionadas, se selecciono la solución 6, debido a que el producto final presenta una apariencia y coloración física semejante al requerido por los usuarios (Tabla 2). En base al diseño conceptual generado, es necesario realizar un análisis técnico sobre el diseño del eje, ya que éste se encarga de recibir y transmitir la potencia al sistema de discos.

3. Diseño a detalle.

3.1. **Determinación experimental de la potencia de operación.**-Con objeto de conocer la energía consumida y la potencia real para procesar una muestra de nopal y obtener jugo, se realizaron pruebas con 37 discos de $\varnothing = 250$ mm con 100 dientes, que abarcan un ancho total de 111 mm. En un equipo construido que cuenta con un motor de 5 HP de potencia y voltaje de 220 V. Se molió una muestra de nopal cuyas dimensiones fueron: 110 mm de ancho, 500 mm de largo, espesor 52 mm.

Como resultado, se registro la máxima energía consumida por cada línea de alimentación al motor y la mínima velocidad en el eje del motor y en el eje de los discos. Donde los datos corresponden a la fase de molienda del extremo base del nopal que es la sección con mayor dureza de la muestra y que registro una corriente máxima en la línea de alimentación $I_1 = 7.8$ Amp. La potencia real se calculo con la siguiente fórmula:

$$P_{real} = EI_1 \quad \text{ec. (1)}$$

El resultado es una potencia real de $P_{real} = 2.21$ HP . Dado que el diseño requiere de 112 discos dentados para el procesamiento de una pieza de nopal completa de 500 mm x 300 mm x 80 mm, la potencia anteriormente obtenida se multiplica por 3 y se obtiene la potencia requerida para mover 112 discos de corte con la ecuación (2). El resultado es una potencia requerida de $P_{req} = 6.63$ HP .

$$P_{req} = 3P_{real} \quad \text{ec. (2)}$$

3.2. **Calculo del sistema de alimentación.**- Para el cálculo de la alimentación en el sistema se considero una pieza de nopal que tenia de largo 300 mm, en su ancho 110mm y un espesor de 20mm, se calculo una velocidad de entrada en el sistema de 10mm/seg aplicándose una fuerza exterior de aproximadamente 4kg (f) , el Angulo de la tolva de alimentación respecto a las cuchillas de corte es de 36° como se muestra en la Figura 1.

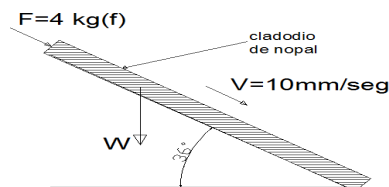


Figura 1. Alimentación del nopal al sistema

3.3. **Calculo de la herramienta de corte.**- Los dientes de la Figura 2 fueron hechos de acero inoxidable AISI 304, cada disco cuenta con 100 dientes, los cuales giran en el sentido anti horario a una velocidad angular de 141.64 rad/seg cuenta con un ángulo de inclinación de 0° y un ángulo de despeje (B) de 30° la distancia entre diente y diente (Paso) es de 8.93 mm. El cálculo del largo del diente esta dado por la ecuación 3.

$$b = 2 \frac{\pi V}{n \omega} \quad \text{ec.(3)}$$

De donde (b) es el largo del diente dados en mm, (V) es la velocidad de alimentación al sistema dados en mm/seg,(n) es el numero de dientes del disco y (ω) es las velocidad angular del disco dadas

en rad/seg despejando los valores anteriores en la ecuación 3 [27],[28].se obtiene que el contacto que existe en el diente con el cladodio de nopal es de 0.133 mm.

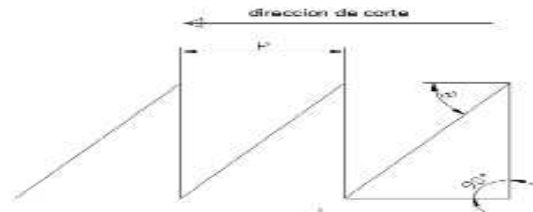


Figura 2. Dientes del cortador

3.4. Calculo del eje.- El eje que transmite la potencia a 112 discos dentados, ha de ser montado sobre 3 chumaceras como se muestra en la Figura 3 y sostener una polea de transmisión montada en el extremo izquierdo. Se desea determinar el diámetro mínimo necesario del eje en la parte central que soporta los discos dentados y servir de referencia para el dimensionar las diferentes secciones del eje.

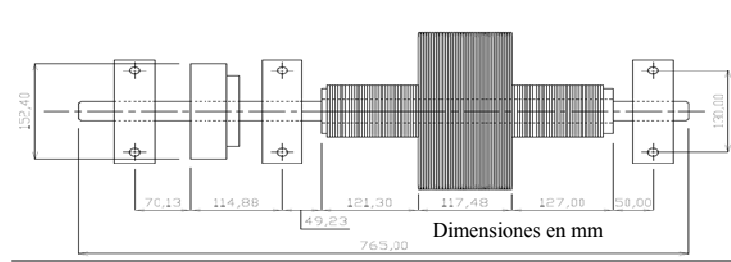


Figura 3. Eje de transmisión y elementos de corte y soporte.

Determinación del par torsor (T) actuante en el eje de transmisión de potencia a los discos se calcula con la ecuación (4):

$$T = \frac{P_{req} \cdot 63000}{V_{eje}} \quad \text{ec. (4)}$$

Donde: T = Par torsor en el eje, $V_{eje} = 1700$ rpm, velocidad del eje, $P_{req} = 6.63$ HP, potencia requerida para mover 112 discos. Sustituyendo en ec (3) se obtiene: $T = 245.7 \text{ lb} \cdot \text{pu} \cdot \text{lg}$ y convirtiendo al Sistema Internacional de unidades, $T = 28140 \text{ N} \cdot \text{mm}$

- a) Análisis de fuerzas en el eje. Con el propósito de lograr el mejor diseño, es necesario conocer las cargas que actúan sobre el eje, las cuales podemos describir de la manera siguiente: 1.- La fuerza tangencial y radial, la cual se desarrolla por el par torsor (T) en la polea conducida de 6" (152 mm) y las fuerzas desarrolladas en los discos dentados provocados por la potencia transmitida se calculan con la ecuación (5) y ecuación (6).

$$F^t = \frac{T}{d_{pc}} \quad \text{ec. (5)}$$

$$F^r = F^t \tan 14.5^\circ \quad \text{ec. (6)}$$

La fuerza tangencial y radial, desarrolla por el par torsor (T) en la polea conducida de 6" (152 mm) es $F^t = 185.131 N$ y $F^r = 47.878 N$, respectivamente. Las fuerzas desarrolladas en los discos dentados provocados por la potencia transmitida son $F^t = 112.56 N$ y $F^r = 29.1 N$, respectivamente. El peso de los discos. 1 kg de peso por cada disco, total de discos requeridos 112, peso total de los discos 112 kg = 1098.72 N. Una vez hechas las consideraciones de la participación de las cargas, se modela el eje con las reacciones que se desarrollan en los rodamientos. Esto se observa en la Figura 4.

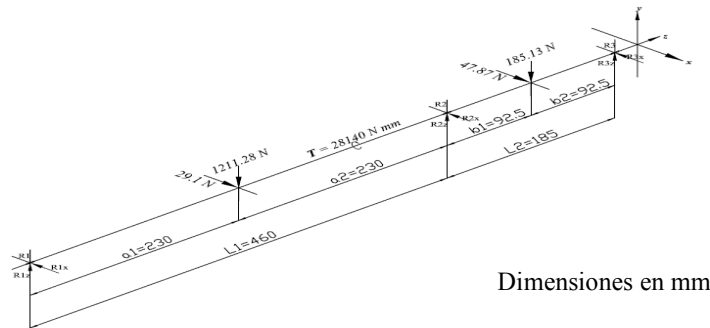


Figura 4. Fuerzas en el eje.

Cálculo de Reacciones en los Rodamientos. Para efectuar el cálculo de las reacciones separamos las cargas en dos planos y-z y el z-x. Y se tiene la Figura 5 que muestra las fuerzas y reacciones en el eje:

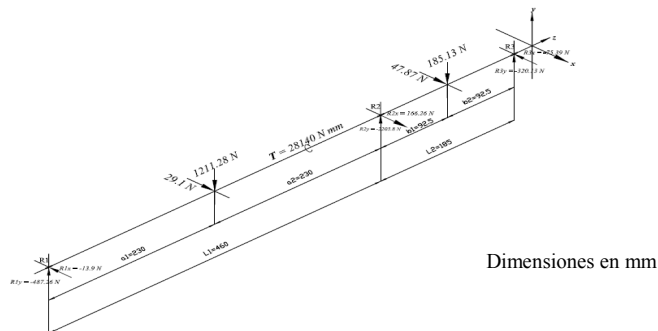


Figura 5. Fuerzas y reacciones en el eje.

- b) Análisis de las fuerzas Internas en el eje. Este análisis se realiza en base de las fuerzas calculadas anteriormente, las cuales desarrollan internamente fuerzas cortantes V , Momentos flexionantes M y momentos torsionantes T , para determinar los momentos máximos y calcular el diámetro del eje. Estos valores se muestran en la Tabla 2.

Tabla 3. Fuerzas internas en el eje.

plano y-z		plano z-x	
fuerzas cortantes	momentos flexionantes	fuerzas cortantes	momentos flexionantes

$V_1 = -487.26 \text{ N}$	$M_1 = -76349.68 \text{ Nmm}$	$V_5 = -13.9 \text{ N}$	$M_4 = -18376.14 \text{ Nmm}$
$V_2 = 1698.54 \text{ N}$	$M_2 = -112069.8 \text{ Nmm}$	$V_6 = 43 \text{ N}$	$M_5 = -3197 \text{ Nmm}$
$V_3 = 505.26 \text{ N}$	$M_3 = 29612.025 \text{ Nmm}$	$V_7 = 123.26 \text{ N}$	$M_6 = -6973.57 \text{ Nmm}$
$V_4 = -320.13 \text{ N}$		$V_8 = -75.39 \text{ N}$	

- c) Cálculo del máximo momento flexionante en el eje. Para el análisis de la sección transversal del eje, obtenemos el momento resultante de los momentos flectores máximos que actúan en cada uno de los planos, horizontal y vertical con la ecuación (7).

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad \text{ec. (7)}$$

$$M = 113\,565 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- d) Cálculo del diámetro del Eje. Para el cálculo del diámetro del eje, utilizamos la teoría de Tresca [26], la cual se muestra en la ecuación 8:

$$d = \sqrt{\frac{32\eta}{\pi S_y} (M^2 + T^2)^{1/2}} \quad \text{ec. (8)}$$

De donde: η = es un factor de seguridad, el cual, en este caso se toma el valor de 3, $S_y = 276 \text{ MPa}$, resistencia de fluencia para acero inoxidable AISI 304. Este cálculo arroja un diámetro mínimo de 23.48 mm en la parte central del eje que soporta los discos dentados, el cual nos servirá de referencia para dimensionar el eje en las diferentes secciones.

4. Construcción del prototipo y descripción de sus sistemas:

La construcción del prototipo de molino se realizó en el Taller de Ingeniería Mecánica y Tecnologías Adecuadas del CIIDIR IPN OAXACA, este equipo se divide en los siguientes sistemas:

- 4.1. Alimentación. Los cladodios de nopal se fraccionan en trozos de $0.50 \text{ m} \times 0.11 \text{ m}$ aproximadamente y se depositan manualmente en una tolva para dirigirlos al sistema de molienda. La tolva se construyó de acero inoxidable AISI 304 y se colocó a un ángulo de inclinación de 45° respecto al sistema de molienda.
- 4.2. Molienda. 37 discos dentados conforman el sistema de corte radial de nopal. Cada disco fue fabricado con lámina de acero inoxidable AISI 304, calibre 11, se cortaron con plasma 37 discos con una tolerancia en el diámetro de 5 mm , posteriormente se perforaron en el centro a un diámetro de 31.75 mm con un taladro de columna, el conjunto de discos se montó en un mandril, rectificándose en el torno a un diámetro externo de 250 mm , posteriormente se desmontaron del mandril y en el torno de manera individual se rectificó el diámetro interno a 38.1 mm , ya rectificadas se montaron nuevamente todos los discos en un mandril y se procedió al tallado de los dientes en la fresadora, utilizándose un cabezal divisor y un cortador angular sencillo de 60° , se realizaron cortes de 0.5 mm de profundidad con una velocidad del cortador de 210 rpm , repitiéndose esta operación hasta alcanzar la altura total del diente de 8 mm . Al término del tallado se desmontaron los discos eliminándose las rebabas con limas planas: bastarda y fina. 72 discos de separación de lámina de acero inoxidable calibre 11 fueron fabricados. El montaje de

los discos dentados y discos de separación se realiza en la sección de $\theta=38,1$ mm en el eje y con una tuerca de rosca inversa se realiza la sujeción de los discos. El eje es fabricado con acero AISI 1018. El eje se monta sobre tres chumaceras fijadas con tornillos al marco superior de un bastidor construido con ángulo de acero al carbón de $2\frac{1}{2}$ " X $\frac{1}{4}$ ", un travesaño de ángulo de 2 " X $\frac{1}{4}$ " se encuentran soldado por dentro del marco superior de la mesa y una base de ángulo de acero al carbón de $1\frac{1}{4}$ " X $\frac{1}{8}$ " para el soporte del motor soldado en el marco inferior de ángulo de 2 " x $\frac{3}{16}$ ".

4.3. Generación y transmisión de potencia. La potencia del sistema se genera por medio de un motor eléctrico con las siguientes características: potencia 2.23 kW (5 hp), frecuencia 60 Hz y 1675 rpm. Para transmitir la potencia del motor eléctrico al eje se utilizan una polea de 6 pulgadas de dos ranuras sobre una cuña colocada en la sección de $1\frac{1}{4}$ " en el eje y 2 bandas B-54.

4.4. Salida de producto. La pasta granulada se direcciona por una tolva inferior de lámina de acero inoxidable tipo T 304 para caer sobre el depósito de almacenamiento que se coloca justo a la mitad de los discos de molienda. En la Figura 6, se observa el equipo utilizado y la pasta granulada obtenida.



Figura 6. a) Vista lateral del prototipo de molino de corte radial y b) la pasta granulada.

RESULTADOS.

Anterior a este prototipo el procesamiento del nopal se venía desarrollando por corte manual del nopal en forma de tiras, posteriormente se secaban y molian en forma manual obteniendo el polvo de nopal. Este trabajo presenta un primer prototipo de corte y molienda para la obtención de pasta húmeda de nopal. El principio de corte se origina a partir de la incidencia de los dientes en la circunferencia de los discos sobre el nopal. Los datos obtenidos muestran que el prototipo construido ofrece una capacidad de producción de 0.25 ton/hora de pasta granulada de nopal con humedad del 93%, el tamaño del grano se estima de 2 a 0.075 mm. Estos resultados serán utilizados como base para la mejora del prototipo desarrollado, y se propone realizar estudios a la pasta granulada húmeda que se obtiene para evaluar su valor alimentario y la calidad del producto obtenido.

Comparando la parte de la operación de este primer prototipo con la Máquina desespinaadora y picadora Nopalli [5], el prototipo requiere de 2 operarios para su correcto funcionamiento lo que facilita esta etapa del proceso. Los materiales inocuos utilizados para la manufactura de los discos de corte facilitan el lavado para desprender los residuos y efectuar el mantenimiento de los principales elementos que constituyen el sistema de corte.

CONCLUSIONES

Se cosecharon cladodios de una plantación de *Opuntia ficus indica*, mantenida en terrenos del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, ubicado en el Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. En la fase de diseño preliminar, los cladodios se utilizaron para la evaluación de las 6 distintas soluciones determinadas por medio de pruebas experimentales. La evaluación, avance y mejora progresiva permite la definición de molienda con discos dentados como la solución que supera los requerimientos iniciales planteados por los productores y que permiten la obtención de pasta

granulada de nopal. Como parte del diseño a detalle, se determino la potencia de 6.63 HP requerida para el procesamiento de nopal, velocidad de giro de 1700 rpm y la determinación de las fuerzas actuantes, reacciones en el eje de transmisión de potencia para el cálculo de la resistencia de materiales, diámetro y dimensiones del eje. Por otra parte, con el prototipo físico construido, se realizo la experimentación de molienda de nopal, obteniendo una pasta granulada.

REFERENCIAS

- [1] Cervantes-Ramírez, M C (2002), Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México, Instituto de Geografía UNAM, México. Obtenido el 01 de octubre de 2007, de <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/temas-sel/plazorico/art4.pdf>
- [2] Escudero Á. E. y González S. P., (2006) La fibra dietética Unidad de Dietética y Nutrición. Hospital La Fuenfria. Madrid Nutr. Hosp21 (Supl. 2) pp. 61-72
- [3] Felker, P., Singh, G., & Pareek, O.P. 1997. Opportunities for the development of cactus (*Opuntia* spp.) in arid and semi-arid regions. *Annals of Arid Zone*, **36**: 267-278.
- [4] Haik, Y. (2003). *Engineering Design Process*. E.U.A.: Thomson.
- [5] <http://www.giga.com/~mag/>
- [6] http://www.giga.com/~mag/Tratado_Nopal.htm#Desc) consultado el 16 de agosto de 2008.
- [7] <http://www2.elnuevodiario.com.do/app/article.aspx?id=102832>. Consultado el 16 de agosto de 2008.
- [8] <http://www.oeidrus-oaxaca.gob.mx/produce/junio07/contenido.pdf> Consultado el 16 de agosto de 2008.
- [9] <http://cuautitlanizcalli.olx.com.mx/molinos-pulverizadores-mezcladoras-iid-10963705>
- [10] Lecaros F, M., P., (1997). Caracterización de harina de cladodio de nopal. Universidad de Chile. Escuela de Agronomía,, Tesis Ing. Agrónomo. Santiago de Chile.
- [11] Linaje-Treviño, M de la Fuente-Salcido, N 2007, Evaluación Sensorial de Yogurt adicionado con Nopal (*Opuntia ficus indica*) como Alimento Funcional, Memorias del IX Congreso de ciencia de los alimentos y V Foro de ciencia y tecnología de alimentos.
- [12] Martínez-Romero, F 2007, Catalogo de propiedades nutrimentales del nopal tunero, Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla.
- [13] Medina Romo, M Tirado Estrada, G Mejía Haro, I Camarillo-Solis, I y Cruz-Vázquez, C 2006, Digestibilidad in situ de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas, *Pesq. agropec. bras.*, Brasilia, 41(7), p.1173-1177.
- [14] Munoz de Chavez M, Chavez A, Valles V, et al. The nopal: a plant of manifold qualities. *World Rev Nutr Diet*. 1995; 77:109-134.
- [15] NMX-FF-068-SCFI-2006 hortaliza fresca - nopal verdura (*opuntia* spp.) - especificaciones (cancela a la NMX-FF-068-1988) fresh vegetable - cactus pear (*Opuntia* spp.) – specifications
- [16] Nopal sabroso, benéfico y barato (2006), revista www.profeco.gob.mx
- [17] Orozco-Álvarez, C Díaz-Sánchez, C Ramírez-Villagómez, D y Yáñez Fernández, J 2007, Secado por Aspersión de Mucilago de Nopal, Memorias del IX Congreso de ciencia de los alimentos y V Foro de ciencia y tecnología de alimentos.
- [18] Ramírez-Tobías, H Reyes-Agüero, J A Pinos-Rodríguez, J Aguirre-Rivera, J 2007, efecto de la especie y madurez sobre el contenido de nutrientes de cladodios de nopal, *Agrociencia*, 41(006), p. 610-626.
- [19] Reyes-Agüero, J A Aguirre-Rivera, J R Hernández, H 2005, Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus indica* (L) Mill (Cactaceae), *Agrociencia*, 39(04), p. 395-408.
- [20] Rios R. J., Quintana M. V. (2004). Manejo general del cultivo del nopal. Secretaria de la reforma agraria, institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas México
- [21] Ríos Ramos, J y Quintana, V 2004, Manual del participante del curso Manejo general del cultivo del nopal. Colegio de Postgraduados, Secretaria de la Reforma Agraria.
- [22] Rojas, G. C., Val B. E., Carabias, L. J., Fanjul L., Pascual, M. M., De la Cruz, C. J., Nopal tunero *opuntia* ssp Cultivo alternativo para las zona áridas y semiáridas de México. Comisión Nacional de las zonas áridas instituto nacional de ecología México secretaria de instituto nacional de ecología
- [23] Saenz, C 1997, Cactus cladodes: a Source of dietary fiber, *Journal of the Professional Association for cactus Development*, 2, p. 117-123.
- [24] Sáenz, C Berger, H Corrales-García, J Galletti, L García de Cortázar, V Higuera, I Mondragón, C Rodríguez-Félix, A Sepúlveda, E Varnero, M 2007, Utilización agroindustrial del nopal, *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*.
- [25] Sepúlveda, E., Sáenz, C., y Moreno, M. 1995. Obtención y caracterización de harina de nopal, (*Opuntia ficus-indica*). *Actas: VI Congreso Nacional y IV Congreso Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal*. Guadalajara. México. pp. 28-31
- [26] Shigley, J. E. (2002). *Diseño en ingeniería mecánica*. E.U.A.: Mc Graw Hill.
- [27] Tuck C. R., O'Dogherty M. J., Baker D. E., Gale G. E (1991a). Field experiments to study the performance of toothed disc mowing mechanisms. 50(2) 93-106.
- [28] Tuck C. R., O'Dogherty M. J., Baker D. E., Gale G. E (1991b) Laboratory studies of the performance characteristics of mowing mechanisms. *Journal of agricultural engineering research*. 50(1) 61-80.