

Diseño de un prototipo de contenedor temporal móvil para la cosecha de la caña en verde

R. C. García Gomez*, M. A. Zúñiga Reyes, L. Marciano Vázquez, M. C. Gutiérrez Gómez, J. C. Niños Torres.
Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, Carretera Panamericana Km 1080, Tuxtla Gutiérrez,
Chiapas, 29110.

*rgarcia@ittg.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Resumen

El presente documento describe el diseño de un prototipo de contenedor móvil que se ensambla a una cosechadora de caña en verde, considerando las características estructurales, toma de fuerza y control de las variables críticas del sistema integral de la cosechadora de caña en verde. Los aspectos físicos más importantes a considerar son el flujo másico, la capacidad del contenedor, la orientación del surco de caña a cosechar y la toma de fuerza hidráulica. Para el proceso de diseño se aplicó la metodología Design Thinking; para la modelación y el prototipado se utilizó SolidWORKS; mientras que para la automatización, la interfaz gráfica se diseñó con LabView, utilizando como controlador una tarjeta Arduino MEGA.; el control de las variables permite una integración en funcionamiento con el resto de los sistemas. Se espera que cuando los diferentes sistemas de la cosechadora se integren al contenedor, la cosecha sea eficiente, pero sobretodo que no haya necesidad de realizar quemas (zafra) y por lo tanto, se reduzca la contaminación ambiental en la zona de Pujiltilic Municipio de Venustiano Carranza, Chiapas, México.

Palabras clave: Pensamiento creativo, cosechadora de caña en verde, flujo másico.

Abstract

This document describes the design of a mobile container prototype that is assembled to a green cane harvester, considering structural characteristics, power take-off, and critical variables control of the integral system of the green-cane harvester. The most important physical aspects to consider are the mass flow, the container capacity, the cane groove orientation to be harvest, and the hydraulic power take-off. Design Thinking methodology was applied for the design process. SolidWorks was used for modeling and prototyping, and for the automation, a graphic interface was designed with LabView, using as controller an Arduino Mega card.; variables' control allows an integrated operation with the rest of the systems. It is expected that when the different combine's systems of the harvester and the container are integrated, the harvest is efficient, but above all there is no need to burn (harvest) and therefore reduce environmental pollution in the area of Pujiltilic Municipality of Venustiano Carranza, Chiapas, México.

Key words: Design Thinking, green cane harvester, mass flow.

Introducción.

La caña de azúcar es un cultivo de elevada relevancia a nivel mundial. De sus tallos se extrae la sacarosa que es uno de los principales suplidores energéticos en la alimentación humana.

Anteriormente la cosecha de la caña era completamente manual pero al ser insuficiente ante la demanda, se introdujo la cosecha mecanizada y la práctica de la quema previa a la cosecha (Ortiz Laurel, Salgado García, Castelán Estrada, & Córdova Sánchez, 2012), para aumentar los rendimientos de los corteros y máquinas y reducir los niveles de materia extraña. (HUMBERT, 1976)

La quema de la caña se realiza antes de la cosecha, y tiene por objetivo principal eliminar follaje seco, basura y, en general, materia extraña, para facilitar la corta, tanto manual como la mecánica y aumentar la eficiencia de la labor. La quema no elimina el follaje de la parte superior del tallo, solo lo deseca. Esta práctica también contribuye a facilitar otras labores agrícolas durante el mantenimiento de la plantación como el riego y el uso de cultivadores mecánicos. Cuando se efectúa la quema de caña en el día se produce una contaminación, la cual puede ser visualizada comúnmente al observar una especie de lluvia de cenizas sobre las ciudades. Estas cenizas van acompañadas de una serie de gases no visibles y humo que agravan los problemas. Así tenemos que esta combustión produce gases como monóxido de nitrógeno, el cual tiene efectos tóxicos sobre los humanos; anhídrido sulfuroso, que al unirse con el agua de la atmósfera forma las llamadas lluvias ácidas y tiene efectos irritantes. (Cock, 1995)

La alta presión de la comunidad y el plazo del gobierno hasta el año 2005 para suspender las quemas, han obligado al sector azucarero a buscar alternativas para la cosecha de la caña en estado verde (cala cortada sin quema previa). En ese sentido, en 2014 se crea el Programa Nacional de la Agro Industria de la Caña de Azúcar 2014-2018. Que busca, a través del desarrollo de capital humano y tecnológico, mejorar la rentabilidad y sustentabilidad de la agroindustria azucarera (FEDERACIÓN, 2014).

En el mercado existen maquinarias que realizan el corte de la caña en verde, lo que elimina la quema de la caña, pero en forma troceada lo que genera perdida para el industrial debido a que se acelera la inversión de azúcares y perdida de sacarosa antes de ser industrializada, además de que se inicia el proceso de degradación orgánica generando microorganismos y hongos que contribuyen a la generación de azúcares reductores. Por tal motivo el industrial prefiere que la caña sea fresca y entera.

La cosecha mecánica requiere de una buena sincronización en la recepción de la caña en los Ingenios, ya que el deterioro de la misma es acelerado, debido a la acción de bacterias que tienen mayor superficie de contacto. Además, el campo cañero Mexicano no permite la cosecha nocturna como en el caso de Australia y Brasil, situación que obliga a modificar las operaciones de la cosecha mecanizada sobre todo en el transporte para evitar deterioro de la caña de azúcar.

La cosecha de caña verde requiere variedades erectas de buen deshoje y con alto contenido de sacarosa para disminuir los efectos negativos de la materia extraña. (García, 1997), (Estrada Cingualbres, Ricardo Aballes, & Pérez Pupo, 2013)

Existe un proyecto en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, que tiene como objetivo la creación de una cosechadora de caña que permita la cosecha en estado verde de la caña para poder eliminar la contaminación que se provoca con las quemas y además que la caña sea en forma entera y no se produzcan pérdidas para los productores.

En este artículo se presenta los trabajos realizados por el subsistema 4, el cual está encargado del diseño de un contenedor móvil de caña en verde con una capacidad de 1 tonelada métrica de caña acoplada al resto de los subsistemas de una cosechadora de caña entera en verde sin quemar.

Metodología.

En este trabajo se presenta un proceso de diseño denominado Design Thinking (Liedtka & Ogilvie, 2011), el cuál en esencia aplica el tren de pensamiento de los diseñadores a la solución de problemas en general, siendo la idea principal: la extrapolación a la empatía. Es decir: Centrarse en un problema puede hacer que la solución se torne esquiva, por lo tanto, empezar a pequeña escala este proceso de empatía, nos lleva a que lleva a todos los sectores a plantearse la misma pregunta ¿cómo se siente el cliente? y ¿Cómo lo resolvemos?.

Para atender estas preguntas seguimos la siguiente secuencia (Figura 1 Fases de la metodología DT (Design Thinking)).

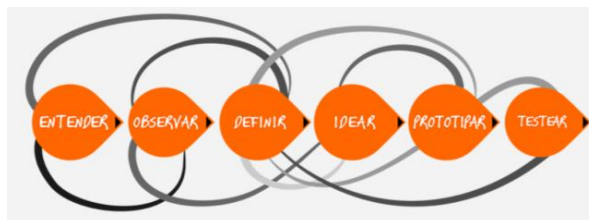


Figura 1 Fases de la metodología DT (Design Thinking)

El cual nos permitió dividir el trabajo en dos grandes secciones: a) la modelación y el prototipado de la estructura, y b) la automatización de los sistemas

Las dos secciones pasaron por los mismos elementos metodológicos y herramientas de desarrollo como son los mapas de empatía, lienzos “Lean Canvas”, Mapeo de experiencia “Customer Journey Map”, Prototipado rápido y sensado (fuente).

Resultados y discusión.

a) Sección modelación y prototipado de la estructura.

La operación mecánica la realiza una maquina conocida como alzadora, que consiste en una especie de trascabo, que en su parte frontal, en el lugar de la tolva de depósito de materiales, tiene una especie de ganchos en forma de patas (araña) con las que sujeta y levanta el bulto de caña y lo deposita en la carrocería o tolva del equipo de transporte.

Las cosechadoras comerciales de caña para producciones superiores a 90 t/ha son combinadas y trozan la caña, y este sistema no permite el arrumbe de esta en los patios. Esto exige una molienda rápida de la caña después del corte, lo que no tendría limitaciones en zonas secas; mientras que en las zonas húmedas puede ocasionar parálisis de las fábricas por falta de la caña en las épocas de lluvias, cuando es imposible hacer la cosecha mecanizada en forma continua. (Gómez, 2013), (Mejías Brito , Sanfort Navarro , & Sánchez Alonso , 2014)

Por lo anterior, el diseño final al pasar por las diferentes etapas de la metodología descrita anteriormente queda como una banda transportadora y dos almacenes temporales con capacidad de una tonelada métrica, la banda debe ser reversible, para que cuando uno de los contenedores alcance su capacidad, la banda se revertirá para llenar el otro contenedor, mientras el contenedor lleno se vacía automáticamente y repetir de nuevo la operación.

- **Diseño de la banda transportadora**

Las primeras bandas transportadoras que se conocieron fueron empleadas para el transporte de carbón y materiales de la industria minera. El transporte de material, mediante bandas transportadoras, data de aproximadamente el año 1795. La mayoría de estas tempranas instalaciones se realizaban sobre terrenos relativamente planos, así como en cortas distancias. (ROTRANS S.A., 2018).

Los transportadores son en forma elemental sistemas de movimiento horizontal, de trayectoria fija y velocidad constante para manejo de materiales. No obstante, con frecuencia tienen secciones inclinadas para cambiar la elevación del material mientras se mueve, cambios de vía para tomar trayectorias alternas y, a fin de permitir la lentitud temporal, detención o acumulación del material, pueden ser motorizados o libres. (Avallone, 2008).

De acuerdo al manual de cintas transportadoras PIRELLI, una banda transportadora es un sistema de transporte continuo formado básicamente por una banda continua que se mueve entre dos tambores.

La banda es arrastrada por fricción por uno de los tambores, que a su vez es accionado por un motor. El otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servir de retorno a la banda. La banda es soportada por rodillos entre los dos tambores.

Siguiendo este concepto se debe calcular la potencia de entrada (del moto hidráulico) que se necesitara en la banda transportadora para que esta pueda mover la cantidad de caña especificada, las cuales son 16 toneladas por hora. La banda tendrá un ancho de 0.8 m y 1.8 m de largo, de eje a eje. Todo esto es debido a las condiciones en las que se recibirá el producto y las dimensiones que tendrá cosechadora de caña.

Debido a la imposibilidad de realizar ensayos para determinar las propiedades físicas de la caña, se han tenido que suponer, acorde a similitudes con otros materiales, dejando como resultado una densidad para la caña de 2000 kg/m^3 .

Es importante especificar para el cálculo que la banda transportadora será de tablillas de madera de roble, el cual tiene una densidad de 720 kg/m^3 .

Para comenzar con los cálculos se debe determinar el coeficiente de rozamiento que habrá entre los rodillos que moverán la banda para rodillos portantes con cojinetes a bolas y mantenimiento normal: $f' = 0.03$. El peso de la cinta y las partes rodantes Q_p está conformado por el peso de las tablillas de la madera y el peso de la cadena que moverán la caña. Suponiendo que las tablillas serán de 1 pulgada de espesor con una longitud total de banda de 3.6 metros y 0.8 metros de ancho, se tiene que el volumen de las tablillas es: $V = 0.07315 \text{ m}^3$. Por lo cual, el peso de las tablillas Q_{p1} es: 52.6694 kg

El peso de las cadenas varía de acuerdo al número, se tomó como referencia la cadena ANSI 60, la cual tiene un peso $w = 14.6 \text{ N/m} = 1.488 \text{ kg/m}$. Calculándose el peso de la cadena Q_{p2} de la siguiente manera: 10.7136 kg .

Ahora se suman los valores de Q_{p1} y Q_{p2} para obtener el valor de Q_p : **63.383 kg**

A continuación se calcula el peso de la cinta y las partes rodantes referido a 1 m de distancia real entre ejes q_p , definida por la siguiente ecuación: $q_p = \frac{Q_p}{I}$, donde I : Distancia entre ejes de las poleas extremas del transportador, obteniendo $q_p = 35.2127 \text{ kg}$, siguiendo con el método, se determina el suplemento ficticio destinado a incrementar la distancia entre ejes I_0 , mediante la ecuación $I_0 = 60 - 0.2 (1.8 \text{ m}) = 59.6$. Sustituyendo los valores de Q_p , q_p e I_0 para calcular el esfuerzo para mover la banda en vacío P_1 , se obtiene $P_1 = (0.03)(35.2127 \text{ kg})(1.8 \text{ m} + 59.64 \text{ m}) = 64.9041 \text{ kg}$

Para la determinación del esfuerzo en vacío se utiliza la ecuación 3.9, en la cual se utiliza el valor de I_0 y f' calculados anteriormente. Teniendo como datos de entrada:

$Q = 16 \text{ ton/h}$ (carga)

$v = 2 \text{ m/s}$ (velocidad de banda)

$I = 1.8 \text{ m}$ (Distancia entre ejes)

$$P_2 = (0.03) \left(\frac{16 \frac{\text{ton}}{\text{h}}}{3.6 \left(2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)} \right) (1.8\text{m} + 59.64\text{m}) = 4.096 \text{ kg}$$

Debido a que se trata de una banda transportadora de tipo horizontal $I = L$ y $H = 0$, el esfuerzo para mover el material verticalmente se vuelve cero. Por último, sumando los tres esfuerzos P_1 , P_2 y P_3 se obtiene el valor del esfuerzo total en la periferia de la rueda catarina: $P = 64.9041 \text{ kg} + 4.096 \text{ kg} + 0 = 69 \text{ kg}$.

Conocido el valor del esfuerzo en la periferia de la catarina, con una velocidad de banda de 2 m/s, es inmediato el cálculo de la potencia absorbida por la banda transportadora:

$$N = \frac{(69 \text{ kg})(2 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{75}; N = 1.84 \text{ CV} = 1.8148 \text{ hp} = 1.3533 \text{ kW}$$

Para la selección de la cadena, se optó por una cadena de un solo torón que sirva de transmisor de movimiento a la banda transportadora y debido a que la diferencia con la potencia de la tabla no es significativa, se decide seleccionar una cadena ANSI 60 de un solo torón. Para el cálculo del número de pasos que tendrá la cadena teniendo los siguientes datos:

$C = 1.8 \text{ m}$ (Distancia entre centros)

$N_1 = 17$ y $N_2 = 17$ (Numero de dientes de las catarinas)

$p = 0.01905 \text{ m}$ (Paso para cadena ANSI 60)

Longitud de cadena: $\frac{L}{0.01905 \text{ m}} = \frac{2(1.8 \text{ m})}{0.01905 \text{ m}} + \frac{17+17}{2} + \frac{(17+17)^2}{4\pi^2(1.8\text{m})(0.01905 \text{ m})}; L = 3.92385 \text{ m}$

No. De Pasos de la cadena: $\frac{L}{p} = \frac{3.92385 \text{ m}}{0.01905 \text{ m}}; \frac{L}{p} = 205.976$

El tipo de cadena más adecuada a utilizar es la Cadena ANSI 60 de un solo torón y 206 pasos.

Para el diseño de los ejes, se utiliza la figura 2 en la que se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje en su estado crítico.

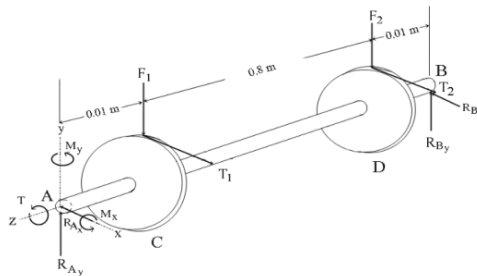


Figura 2 Modelo de cálculo del eje a diseñar

Después de determinar las tensiones, las reacciones y los momentos torsores, se pueden determinar los momentos flexionantes máximos en el eje. Apoyándonos en los siguientes diagramas.

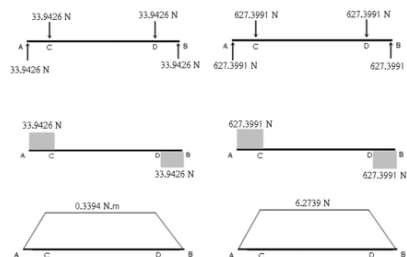


Figura 3 Diagramas de momentos en x y y en el eje a diseñar.

Para el cálculo de las velocidades críticas se utilizó el método de Rayleigh- Ritz, sustituyendo los valores de $\delta_1 = 3.668 \times 10^{-7} \text{ m}$ y $\delta_2 = 3.6776 \times 10^{-7} \text{ m}$ y sabiendo que los pesos de las catarinas son 14.3226 N , queda de la siguiente forma:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{9.81 \frac{m}{s^2} [(14.3226 \text{ N})(3.668 \times 10^{-7} \text{ m}) + (14.3226 \text{ N})(3.6776 \times 10^{-7} \text{ m})]}{(14.3226 \text{ N})(3.668 \times 10^{-7} \text{ m})^2 + (14.3226 \text{ N})(3.6776 \times 10^{-7} \text{ m})^2}}; \omega_c = 5168.1545 \text{ rad/seg}$$

El siguiente elemento a calcular son los cojinetes, para ello se sigue las pautas de fabricantes internacionales como SKF, en los cuales se encuentra que el valor de la carga dinámica calculada es menor a la carga dinámica del cojinete seleccionado ($C=12.7 \text{ kN}$), el cojinete 6204 de la tabla 3.9 es el indicado para soportar la carga.

Diseño de la tolva.

Según las dimensiones de la tolva e idealizando la disposición de las cañas, esta contendrá aproximadamente 14 columnas con 17 cañas cada una, como se muestra en la figura 4, suponiendo que la caña tiene un diámetro máximo de 6 cm y 1.8 m de largo. En la misma figura podemos observar la distribución de la fuerza sobre las paredes y base de la tolva.

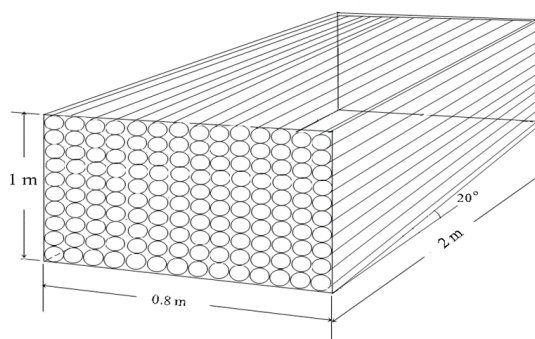


Figura 4 Disposición idealizada de la caña en la tolva

El análisis del espesor de placa se realiza a partir de la base de 0.8 m de ancho y 2 m de largo. Para rigidizar la tolva se proyectará una estructura de ángulos remachada sobre toda su periferia. Para evitar el desgarramiento y cortadura de la placa por los remaches estos deben tener un paso de al menos $1 \frac{1}{2}$ veces el diámetro del remache. Exagerando la medida del paso, dividiremos la placa en 4 secciones, donde se supone estarán los remaches.

Según esta disposición, la placa es semejante una viga continua de 0.5 m de longitud empotrada en sus extremos con carga distribuida en donde la carga distribuida q corresponde a la carga de cañas.

La base de 2 m de largo y 0.8 m de ancho, está cargada por 14 columnas de 17 cañas, como se había mencionado anteriormente. Pero debido a la inclinación de la base, no todo el peso se apoya sobre esta, por lo que la carga q es igual a la suma de las fuerzas R_y , que ejerce el peso de cada una de las 17 cañas enfiladas, sobre una sección de la placa, en 1 metro de longitud.

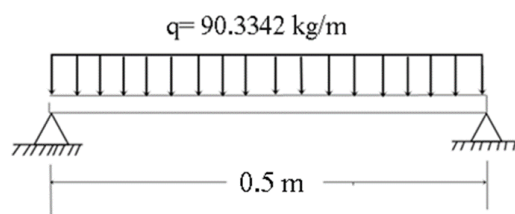


Figura 5 Modelo de cálculo para el espesor de placa de la base de la tolva

Al tratarse de una viga empotrada en ambos extremos con carga distribuida, se calcula la flecha máxima para distintos tipos de perfiles, variando el espesor de la viga e y conservando la anchura de 0.8 metros. De esta forma se calcula el valor de la flecha máxima para espesores a partir de 1 mm, resultando la siguiente tabla:

e (mm)	I (cm ⁴)	f_{max} (cm)
1	6.666×10^{-3}	1.0502
2	0.0533	0.13127
3	0.18	0.0388
4	0.4266	0.00164

Tabla 1 Flechas máximas para diferentes espesores de placa de la base de la tolva

La condición de flecha admisible se cumple con un espesor de placa de 2 mm.

El soporte consiste en dos vigas que van a lo largo de cada lateral de la banda transportadora, y de sección transversal rectangular. Las vigas estarán apoyadas sobre columnas en sus extremos las cuales tendrán un tipo de pestañas con orificios que permitan ensamblar con tornillos la banda transportadora en el bastidor de todo el sistema. Las columnas tendrán un conjunto de pistones hidráulicos, uno para la apertura y cierre de la tolva y el otro para el desplazamiento de las tolvas cuando vaya por carretera. El material del soporte será Acero ASTM-A36 b.

Tomando en cuenta que el mayor esfuerzo se tendrá sobre las vigas que sostendrán todo el conjunto, el análisis se centrará en estas, para fabricar el soporte de un solo material. Considerando las siguientes cargas: Peso de las tablas de madera: 52.6694 kg; Peso de la cadena: 10.7136 kg; Peso de los ejes: 58.9346 kg; Peso de las catarinas: 5.84 kg; Peso de los cojinetes: 0.44 kg; Peso de la carga de caña: 78.5976 kg.

El modelo de cálculo de la viga es a una viga simplemente apoyada con carga distribuida el cual se presenta en la siguiente figura:

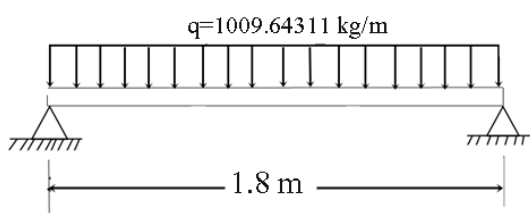


Figura 6 Modelo de cálculo para el espesor del perfil del soporte de la banda transportadora y tolvas.

Siendo $L \leq 5$ metros la flecha máxima admisible será $L/200$: $f_{adm} = (180 \text{ cm})/200 = 0.9 \text{ cm}$. Y según lo señalado, para vigas simplemente apoyadas con carga distribuida, tenemos que la flecha máxima es:

$$f_{max} = \frac{5(1009.64311 \text{ kg/m})(1.8 \text{ m})(180 \text{ cm})^3}{384(2100000 \text{ kg/cm}^2)I}; f_{max} = \frac{65.71694}{I}$$

El ancho de la sección es de 1.6 cm, este valor fue elegido ya que esta es la misma medida de las chumaceras de los cojinetes, y de ahí será donde se agarrará el soporte.

Variando el espesor de la viga e y conservando la anchura de 1.6 cm se calcula el valor de la flecha máxima para espesores a partir de 78 mm, resulta la siguiente tabla:

e (mm)	I (cm ⁴)	f_{max} (cm)
78	63.2736	1.0386
79	65.7385	0.9996
80	68.2666	0.9626
81	70.8588	0.9274
82	73.5157	0.8939

Tabla 2 Flechas máximas para diferentes espesores del perfil del soporte

b) Sección de automatización de los sistemas.

Esta sección se divide en dos apartados, en el primero se describe el funcionamiento general del sistema, en la segunda se describen los elementos electrónicos involucrados en el control del hardware.

• Descripción general del proceso

El procedimiento para controlar todo el mecanismo de la cosechadora de cañas, se inicia cuando el operador selecciona el costado por el cual se realizará cosecha, por lo tanto únicamente existen dos opciones disponibles, el costado derecho ($cosD$) o el costado izquierdo ($cosI$). Esto se realiza con la finalidad de que la caña sea transportada al contenedor contrario al costado donde se realizará la cosecha.

Una vez se tiene colocada la banda transportadora en la dirección correcta, se inicia el corte y almacenamiento de la caña. Para ello se espera la indicación por parte del operador, el cual únicamente tiene que activar el botón de inicio ($BI=1$) para que la banda transportadora sea activada y se detendrá cuando exista un paro indicado por el operario o cuando se necesite vaciar el contenedor en uso.

Los sensores de nivel mínimo ($snmin$) y máximo ($snmax$) permiten saber cuándo el contenedor está vacío o cuando se encuentra lleno, respectivamente. Cuando exista la condición de nivel máximo ($snmax=1$) presente se procede a detener el avance de la banda transportadora y se activa el pistón de vaciado, dicho pistón está colocado de tal forma que su activación permite el vaciado del contenedor al que está conectado y por lo tanto una vez se detecta que el contenedor está vacío ($snmin=0$), se inicia el retroceso del pistón para colocarlo en su posición original. El corte y transporte de la caña continúa de forma cíclica y termina cuando el operador lo solicite ($BI=0$).

En la Figura se muestra el diagrama de flujo correspondiente al proceso de control del mecanismo de corte de caña. En la Figura 8 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al subproceso de vaciado del contenedor de caña.

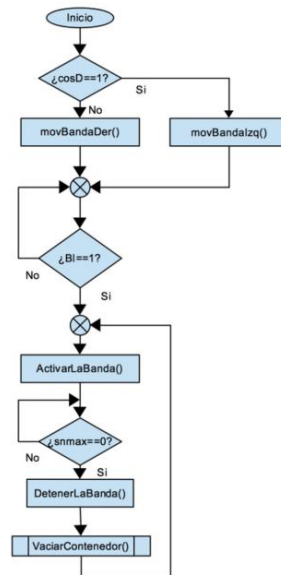


Figura 7. Diagrama de flujo general del control de corte y almacenamiento de caña.

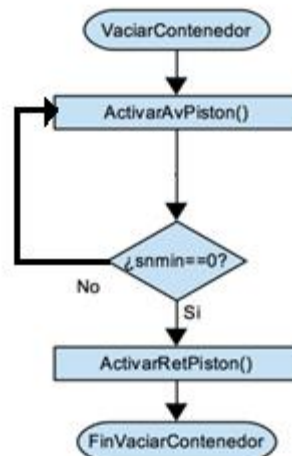


Figura 8. Diagrama de flujo para el vaciado del contenedor.

El sistema de control se implementa en el lenguaje de programación LabView, el cual permite realizar gráficamente la codificación correspondiente al diagrama de flujo creado en los párrafos previos, siendo básicamente el monitoreo de los instrumentos en función de On/Off, generando una secuencia establecida para cada evento.

Se utiliza un ciclo *while* que permite el control del funcionamiento del sistema por medio de un botón de control (BI), dentro de dicho ciclo se codifican las diferentes etapas que estará controlando el programa. En la Figura 9 se muestra la vista del panel frontal creada en la versión de evaluación de LabView 2018. En la **Figura 9**

se muestra una imagen del diagrama de conexiones del código, como se puede observar se utiliza el equivalente del condicional *if* para determinar el estado del sistema.

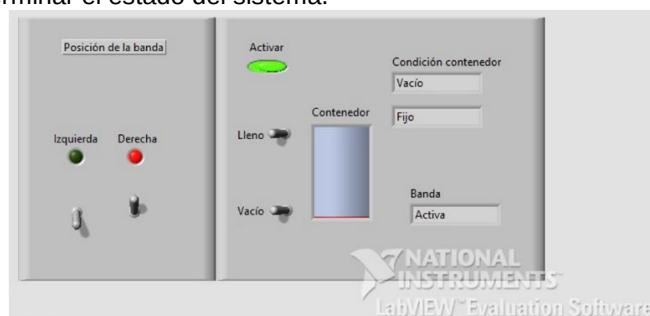


Figura 9. Panel frontal con los indicadores de los sensores del contenedor y estado de la banda.

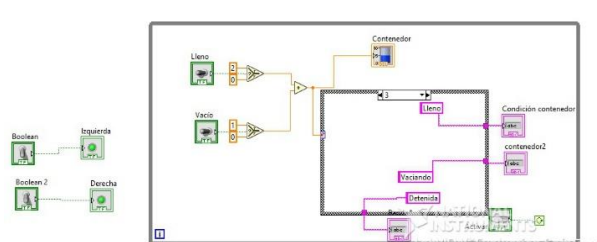


Figura 10. Diagrama de correspondiente al sistema de control.

Diagrama eléctrico

Las órdenes enviadas por el software se ejecutan por medio de una tarjeta Arduino Mega, la cual permite interpretar las indicaciones del software y las convierte a señales eléctricas que posibilitan la lectura o activación de pines digitales. Debido a que la tarjeta Arduino Mega es de aplicación general, se necesita programarla para poder aceptar los comandos enviados desde LabView, para ello se siguen las instrucciones proporcionadas en el sitio WEB de National Instruments (National, 2018). Una vez se tiene configurada la tarjeta Arduino, entonces se procede a desarrollar el hardware adicional cuyo propósito es permitir la activación de etapas de potencia cuyo voltaje de alimentación es mayor que el de la tarjeta Arduino. En este caso se utiliza un relevador para realizar el encendido y apagado de las bombas hidráulicas, para evitar daños a la etapa de baja potencia se utiliza un optoacoplador con salida a transistor como se muestra en la Figura 11. La entrada de señales que vienen de los sensores *snmin* y *snmax* se muestra en la Figura 12.

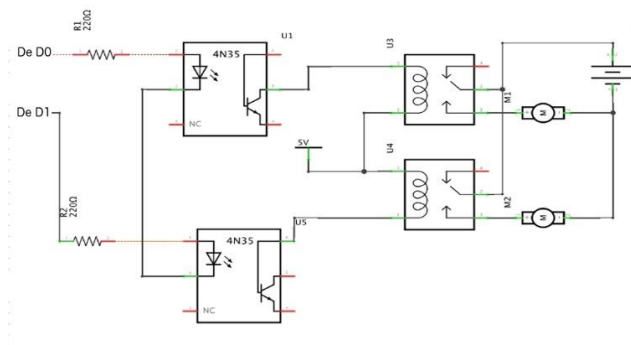


Figura 11. Diagrama eléctrico para la activación de las bombas hidráulicas.

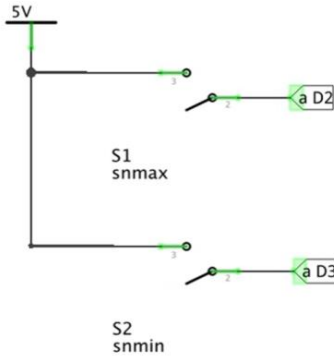


Figura 12. Circuito eléctrico utilizado para leer los datos de los sensores de nivel.

Diseño final.

Tomando como referente los resultados, al considerar los materiales y elementos aquí planteados se diseñó una banda transportadora así como un contenedor temporal, los cuales se acoplaran a otros subsistemas que permitirán en su conjunto constituir una cosechadora de caña en verde.

Los materiales seleccionados en el diseño se han tomado en cuenta debido a sus propiedades mecánicas y valores estandarizados en las diferentes normas, lo que permite suponer con un grado alto de confiabilidad tanto su uso como duración. Pero cabe mencionar que su utilización no está restringida, así que podría optar por otros materiales para su fabricación, pero con mayor o igual esfuerzo de fluencia al corte que los materiales previstos. En la figura 13 y 14 se muestran los resultados finales de los cálculos en forma de diseño de elementos.

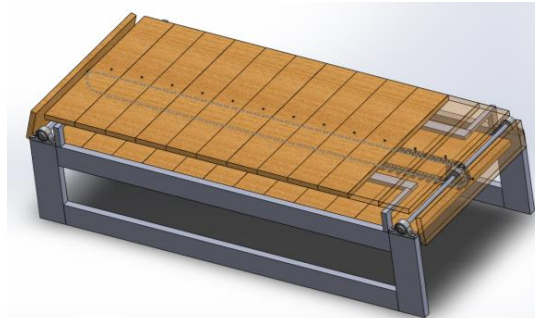


Figura 13 Diseño de una banda transportadora de tablillas

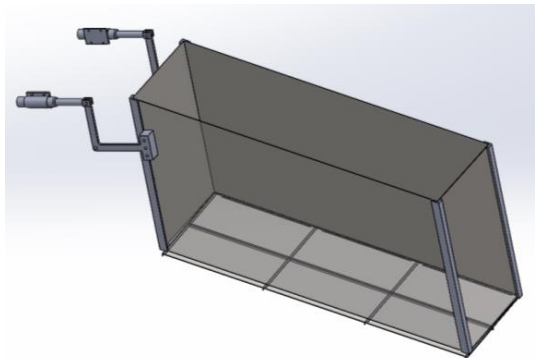


Figura 14 Diseño de una tolva temporal de caña de azúcar en verde

Trabajo a futuro.

Al presente trabajo le resta la interacción con los tres subsistemas adicionales, que integran el proyecto denominado “Diseño de Implementos Agrícolas para la Optimización de la Cosecha en Verde de la Caña de Azúcar”. De igual manera los ajustes y rediseños para facilitar su integración y su futura escalabilidad a un punto comercial. .

Conclusiones

Teniendo como base los estudios realizados, es pertinente tener siempre presente que la quema de la caña de azúcar produce contaminación en la atmósfera, pero además el hecho de no quemarse por completo la caña de azúcar genera también monóxido de carbono (CO), gas sumamente tóxico cuyos efectos van en deterioro de la capa de ozono, que como se sabe ésta cumple un rol protector que al ir desapareciendo, se producirá una entrada directa de los rayos ultravioletas, que tiene un efecto de alto riesgo contra la salud del ser humano, por tanto dicha práctica atenta contra la calidad de la vida y del ambiente.

Si bien la quema de la caña de azúcar se efectúa para eliminar residuos vegetales, malezas y alimañas que interfieren en la cosecha de tallos, aumentando la eficiencia de la labor de recolección, ya que se suprime el deshoje manual y consecuentemente disminuye el costo de la mano de obra.

La cosecha de la caña de azúcar en verde representa una alternativa viable y sustentable a la cosecha que se realiza de forma tradicional, y puede realizarse en aquellos terrenos que cuentan con condiciones topográficas adecuadas para ello, con ventajas en la reducción de tiempo en el corte y de la mano de obra empleada, el presente trabajo representa una propuesta viable tanto estructural como funcional, e interactuando con los tres subsistemas que conforman el proyecto total de la cosechadora representaran un alternativa tecnológica sustentable.

Esto minimiza costos, optimiza la cosecha y la entrega de caña al ingenio, reduce las emisiones de humo y cenizas contaminantes al ambiente, aminora la aspiración de estos humos por parte de los trabajadores dedicados a la cosecha y que están pendientes de la quema, e impacta de menor manera la fauna que se desarrolla dentro y alrededor de los cañaverales.

La cosecha de caña de azúcar “en verde” implica cambios tecnológicos al productor porque es una forma diferente de producción. Romper con las tecnologías tradicionales requiere de capacitación y de inversiones en maquinaria agrícola específica para el laboreo de las tierras.

Agradecimientos.

Agradecemos el apoyo del Tecnológico Nacional de México, a través del campus Tuxtla Gutiérrez, por el apoyo en infraestructura, equipamiento y recursos, así como el apoyo del cuerpo académico “Ingeniería Mecánica ITTUXG-CA_8” por parte del Programa de Fortalecimiento de Cuerpo Académicos.

Referencias.

1. Avallone, E. A. (2008). *Manual del ingeniero mecanico*. Mc Graw Hill.
2. Cock, J. H. (1995). *Manejo de la caña para cosecha en estado verde*. Obtenido de http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p365-369.pdf.
3. Estrada Cingualbres, R., Ricardo Aballes, C., & Pérez Pupo, R. (2013). Análisis dinámico del mecanismo paralelogramo del cortacogollo desfibrador para la cosechadora cañera cubana CCA- 5000 . *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 5-11.
4. FEDERACIÓN, D. O. (2014). *PROGRAMA NACIONAL DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR 2014-2018*. CD DE MEXICO: DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION.
5. García, R. (1997). *FONAIAP DIVULGANA*. Obtenido de http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd57/cana.htm.
6. Gómez, R. C. (2013). *Diseño de cosechadora de caña de azucar*.
7. HUMBERT, R. (1976). *El Cultivo de la Caña de Azúcar*. Continental. Obtenido de Monografías.
8. Liedtka, J., & Ogilvie, T. (2011). *Designing for Growth: A Design Thinking Tool Kit for Managers*. Columbia: Columbia Business School Publishing.
9. Mejías Brito , J., Sanfort Navarro , J., & Sánchez Alonso , J. R. (2014). ISTEMA INFORMÁTICO PARA LA EVALUACIÓN DE MÁQUINAS COSECHADORAS DE CAÑA DE AZÚCAR . *TLATEMOANI Revista Académica de Investigación* , 210-221.
10. Ortiz Laurel, H., Salgado García, S., Castelán Estrada, M., & Córdova Sánchez, S. (2012). Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 767-773.
11. ROTRANS S.A. (1 de 07 de 2018). *Rotranssa*. Obtenido de <http://rotranssa.com/cintas-transportadoras>: <https://rotranssa.com/contacto>
12. Ruíz, F. S. (s.f.). *Cultivo de la caña de azucar*.