



DISEÑO MECATRÓNICO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO TRILLADO DE CAFÉ

Chirinos Génesis, Vizcaya José, Garrido Almodovar Monserrat y Pereira Pire Raymar

Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre", Ingeniería Mecatrónica. www.unexpo.edu.ve, Núcleo Carora, Lara-Venezuela
mgarrido@unexpo.edu.ve

ASA/EX-2017-13.

Recibido: 30-06-2017

Aceptado: 08-10-2017

RESUMEN

En el presente trabajo, se realizó la automatización del proceso de trillado de café, la investigación está enmarcada en la modalidad de proyecto factible y se desarrolló en las siguientes fases, diagnóstico, estudio de factibilidad y diseño, en la cual es el objetivo principal debido a los daños que sufren a nivel de la salud las personas encargadas de trabajar en el proceso de trillado de café que laboran de manera manual. El proyecto se basa en la construcción de una máquina que pueda trillar el café pergamino en un tiempo corto, inicialmente consta de una tolva en donde se depositara el café pergamino el cual se trasladara a la tolva de la trilla por medio de un tornillo sin fin. Dicha tolva contara con sensores medidores de nivel los cuales al percibir la señal encenderán y apagaran los motores del tornillo sin fin. Para la tolva sin fin se utilizaron motores AC 110v al igual que para el proceso de trillado. Todo el proceso se llevó a cabo a través de un módulo de control comandado por un microcontroladores PIC 16F877, además de otros componentes electrónicos más básicos como transistores, relés, integrados, entre otros. Logrando un diseño mecatrónico capaz de automatizar el sistema de trillado de café.

Palabras Clave: *Coffea arábica* L, descascarar; pic16F877, trillado.



PROCESS AUTOMATION TRITE COFFEE

ABSTRACT

In this paper, the process automation trite coffee was realized, the research is framed in the form of practicable project and other development in the next stages, diagnosis, feasibility study and design, which is the main objective, due a damage suffer health level persons responsible for work in process trite coffee manually working them. The project is based on building a machine that can thresh parchment coffee in a short time UN, initially comprises a hopper where the parchment was deposited which is moved to the hopper of the threshing through the United Nations endless screw. Said hopper will feature sensors level gauges which at perceiving signal will turn on and off motors worm. For the worm 110v AC motors were used as for the process trite. The whole process was carried out through a control module commanded by a 16F877 PIC microcontroller, in addition to other more basic electronic components such as transistors, relays, integrated, among others. Achieving a mechatronic design capable of automating the coffee threshing system

Keywords: *Coffea arábica* L, shell; pic16F877, trite.



INTRODUCCION

Con el pasar del tiempo los productores de café han venido intentando facilitar las actividades de su día a día a través de la tecnología, actualizándose en todos los aspectos que se presentan, destacándose en la automatización de procesos. Por ello nace la inquietud de automatizar el proceso de trillado de café, estudiando productos que involucran sistemas de control y procesos inteligentes lo cual busca crear maquinaria más compleja para facilitar las actividades del caficultor.

La investigación que se presenta a continuación, es resultado de la investigación y exploración de métodos funcionales para “**Automatización del trillado de café**”, apoyando las diferentes productores caficultores, pequeños empresarios.

METODOLOGÍA

El estudio se enmarca en la modalidad de proyecto factible, ya que según el Manual de Trabajo Especial de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”

(2011) este "consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales. Puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo experimental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades".

RESULTADOS

De acuerdo a visitas realizadas a las fincas de pequeños y medianos caficultores en la parroquia y aparte de los conocimientos adquiridos, se notó que el trabajo manual es repetitivo y agotador para el trabajador tendiendo este a repercutir en la salud.

Para realizar la investigación se parte con cada uno de los diseños tanto electrónico como mecánico, al igual que las dimensiones de la maquina automatizada para trillar café, haciendo la selección de los materiales a usar. Se da a conocer con la siguiente figura el diagrama de bloque que representa la estructura mecánica de la maquina la cual se visualizara tolv de



almacenamiento, elevador (tornillo sin fin) y módulo de trilla. Se muestra la Figura 1 el diagrama de los módulos mecánicos.

Módulo mecánico

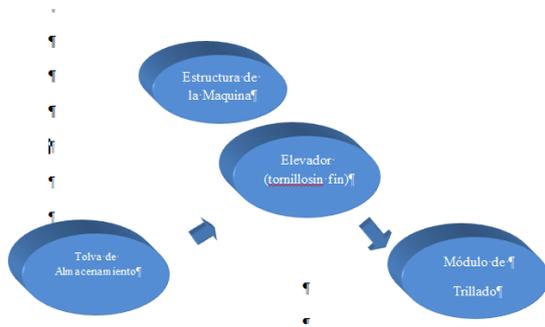


Figura 1. Diagrama del módulo mecánico

Cálculos mecánicos

Para el diseño de la máquina se escogió como material acero 1020 debido que para procesar el café en esta etapa no se necesita usar acero inoxidable. Según la norma AISI 1020 cuenta con las siguientes características. A continuación Figura 2. Normas AISI para acero 1020.

ACERO ASI-SAE 1020 (UNS G10200)	
1. Descripción:	acero de mayor fortaleza que el 1018 y menos fácil de conformar. Responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. La soldabilidad es adecuada. Por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria.
2. Normas involucradas:	ASTM A108
3. Propiedades mecánicas:	Dureza 111 HB Esfuerzo de fluencia 205 MPa (29700 PSI) Esfuerzo máximo 380 MPa (55100 PSI) Elongación 25% Reducción de área 50% Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI) Maquinabilidad 72% (AISI 1212 = 100%)
4. Propiedades físicas:	Densidad 7.87 g/cm ³ (0.284 lb/in ³)
5. Propiedades químicas:	0.18 - 0.23 % C 0.30 - 0.60 % Mn 0.04 % P máx 0.05 % S máx
6. Usos:	se utiliza mucho en la condición de cementado donde la resistencia al desgaste y el tener un núcleo tenaz es importante. Se puede utilizar completamente endurecido mientras se trate de secciones muy delgadas. Se puede utilizar para ejes de secciones grandes y que no estén muy esforzados. Otros usos incluyen engranes ligeramente esforzados con endurecimiento superficial, pines endurecidos superficialmente, piñones, cadenas, tornillos, componentes de maquinaria, prensas y levas.

Figura 2. Normas de AISI

Módulo de Tolva de Almacenamiento

En éste mecanismo es donde se almacenara el café pergamino la cual consta con tres indicadores, con la finalidad de que el operador tenga conocimiento acerca del nivel del café. A continuación se muestra la figura N° 3 con la tolva de almacenamiento.

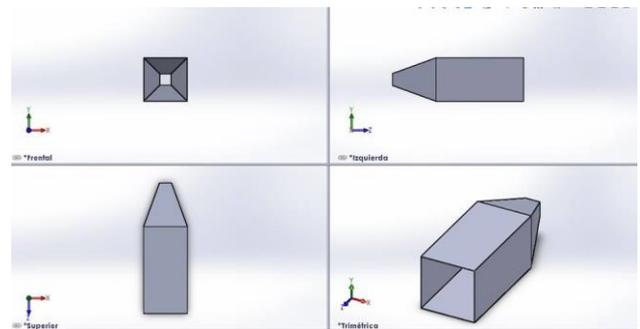


Figura 3. Tolva de almacenamiento



Cálculos mecánicos de la tolva almacenadora.

Para el diseño de la tolva están en función del volumen del café ya que se requiere en promedio 60Kg de café pergamino para llenar un quintal de café oro de aproximadamente 46kg. Se desea realizar por lo menos 3 veces este proceso de llenado del quintal para ello se diseña la tolva que pueda soportar un volumen de 200kg de café pergamino. La cual cuenta con las siguientes dimensiones 1500 mm de alto por 600mm de ancho y una salida de 100 mm.

Se procede a calcular el volumen total por medio de la ecuación volumen de un rectángulo. El volumen total es

$$V_t = 0.432m^3$$

A continuación se calcula la masa ya que el café pergamino seco posee una densidad de 363 Kg/m³ según la tabla N° 1 de hoja técnica de densidades del café.

$$M = \frac{363Kg}{m^3} \times 0.432m^3$$

$$M = 157 kg$$

Cuadro 1. Densidad del café

Densidad del Café Coffee density:	qq/m3	kg/m3	fanega/m3
CAFÉ ORO GOLD COFFEE	14.5	658	14.5
CAFÉ PERGAMINO SECO DRY COFFEE PARCHMENT	8	363	--
CAFÉ PERGAMINO HÚMEDO WET COFFEE PARCHMENT (47%)	15	680	7 (en pilas)
CAFÉ EN FRUTA WHOLE COFFEE	14	635	2.5
PULPA SIN COMPACTAR WITHOUT COMPACTING PULP	8.8	400	--
CASCARILLA SIN COMPACTAR WITHOUT COMPACTING HUSK	5.0	227	--

Se procede a calcular el peso
 $p = 157 kg \times 9,8 m/seg^2$

$$p = 1538,6 N$$

Por medio de la ecuación para el cálculo del peso.

$$p = 22kg \times 9,8 m/seg^2$$

$$p = 215,6 N$$

Se procede a calcular los esfuerzos cortantes de la lámina producto de las fuerzas aplicadas las cuales son

$$F = 1538,6 N + 215,6 N$$

$$F = 1754,2 N$$

$$\cup + \sum MA = 0$$



$$-1754,2 \times 0,05m + Fb \times 0,10 m = 0$$

$$Fb = 877,1 N$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Fa - 1754,2 N + 877,1 N$$

$$Fa = 877,1 N$$

$$A_1 = 877,1N \times 0,05m$$

$$A_1 = 43.855Nm$$

$$A_2 = -877,1N \times 0,05m$$

$$A_2 = -43.855Nm$$

Por lo tanto nuestro esfuerzo es de 43.855Nm.

Se procede a calcula el factor de seguridad con el esfuerzo obtenido de la tolva aplicando la fuerza a un ángulo estructural de acero dulce, el cual sostendrá la tolva de pie. Dicho material tiene un esfuerzo último de 414KN.

Así entonces el esfuerzo normal es igual

$$I = \frac{1}{12} \times (0,6m)^3 \times (0,03m)$$

$$I = 5,4 \times 10^{-4} m^4$$

$$\sigma = \frac{43,855 N \cdot m \times 0,03m}{5,4 \times 10^{-4}}$$

$$\sigma = 1218,16 N$$

Esfuerzo cortante: $\tau = F/A$
 $1754,2 / (0,03m \times 0,6m) = 97.455 KN$

Esfuerzo max. $\sqrt{\tau^2 + \sigma^2} =$
 $\sqrt{(1218,16N)^2 + (97.455KN)^2} =$
 $97,463KN$

Por lo cual se procede a calcular el factor de seguridad para esta lamina, por medio de la ecuación

$$Fs = \frac{414KN}{97,463KN} \quad Fs = 4.24$$



Cinta transportadora helicoidal (tornillo sinfín).

Este cálculo está diseñado para transportar el material mediante una espiral basado en el principio de Arquímedes, tienen la posibilidad de trabajar en diferentes ángulos siempre y cuando este diseñado para el fin tienen infinidad de confinaciones con lo que la capacidad de adaptarse a cualquier tipo de proceso pudiendo combinar la posición, de la tolva de carga boca de salida y grupo de accionamiento además de tener en cuenta la posición de trabajo.

Los transportadores sinfines están diseñados para transportar cualquier tipo de material bien residuos orgánicos en el tratamiento de aguas, transporte de sólidos en infinidad de industrias y aplicaciones de toda índole, son equipos los cuales se diseñan según necesidades: tipo material a transportar, inclinación, caudal a transportar, velocidad de translación de los materiales, etc.

El tornillo sin fin será diseñado con un diámetro exterior de 4 pulgadas por ser esta medida comercial, con una longitud de 2 metros permitiendo la

separación de las tolvas de almacenamiento y de la trilla, a su vez la colocación del saco colector del café trillado.

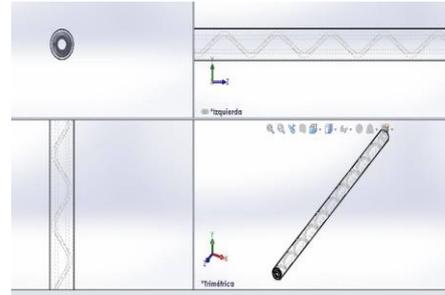


Figura 4. Tornillo sinfín

Sistema de transmisión para el tornillo sinfín.

Para realización de la transmisión se utiliza una entrada de 1700 rpm, la cual se desea reducir a un promedio de 280 rpm que serían las indicadas para el giro del tornillo sin fin. Con ello se asume una polea menor de 2 in que se posicionaría en el motor.

Cálculos para la longitud de la correa

Esta se calcula por medio de la ecuación N° 20 tomado en consideración los diámetros de las poleas.



$$L_p = 2 \times 12in + \frac{\pi}{2}(12in + 2in) \frac{(12in-2in)^2}{4 \times 12in}$$

$$L_p = 48in \quad L_p = 1200mm$$

Calculo de arco de contacto

$$A = 180 - 57 \frac{(12in-2in)}{12in} \quad A = 137,5^\circ$$

Se procede a calcular los ángulos de contacto de las poleas en la cual la distancia entre ejes se asume de 500 mm para tener una distancia considerable entre poleas.

$$\theta_d = \pi - 2 \sin \frac{304.8mm-50.8mm}{2 \times 500mm}$$

$$\theta_d = 2,62^\circ$$

$$\theta_D = \pi + 2 \sin \frac{304.8mm-50.8mm}{2 \times 500mm}$$

$$\theta_D = 3,65^\circ$$

Calculo de la velocidad lineal

Éste se considera los rpm del motor y el diámetro mayor así por la ecuación se tiene

$$V_t = \frac{\pi \times (50.8mm) \times (1700rpm)}{60000}$$

$$V_t = 4,52 \text{ m/s}$$

Cálculos de la tolva de la trilla.

Para el diseño de la tolva de la trilla esta cuenta con las siguientes dimensiones 600 mm de alto por 600 mm de ancho y una salida de 100 mm.

Procedemos a calcular el volumen de un tronco de pirámide regular

$$A = \frac{(600 \text{ mm} + 100 \text{ mm}) \times 600 \text{ mm}}{2}$$

$$A = 210000 \text{ mm}^2$$

$$V_2 = 210000 \text{ mm}^2 \times 0,9 \text{ mm} \times 4$$

$$V_2 = 756 \text{ cm}^3$$

Se calcula la masa por medio de la ecuación $M = 756 \text{ cm}^3 \times 7,93 \text{ g/cm}^3$

$$M = 5.99 \text{ kg}$$

Por medio de la ecuación para el cálculo del peso.

$$p = 5.99 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/seg}^2 \quad p = 58,75 \text{ N}$$



Módulo Electrónico

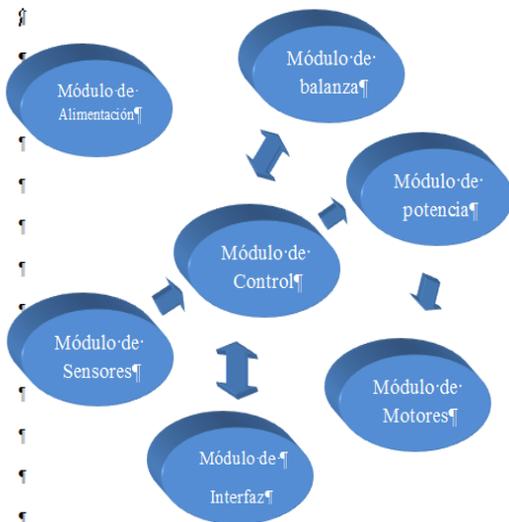


Figura 5. Diagrama del módulo electrónico

Módulo de Alimentación

Este módulo es quien provee a la máquina de energía eléctrica para el funcionamiento de cada una de sus partes eléctricas y electrónicas, como lo son controlador y sensores. Es por ello que es una pieza de vital importancia ya que del buen funcionamiento de esta depende gran parte de la máquina.

Debido a que el prototipo necesitara de varios niveles de tensión DC, se diseñará un convertidor AC/DC para eliminar el uso de baterías y sus costos, además de obtener un nivel de tensión estable con capacidad de soportar altos

consumos de corriente eléctricas. Se muestra la Figura 6 diagrama circuitual de la fuente de alimentación.

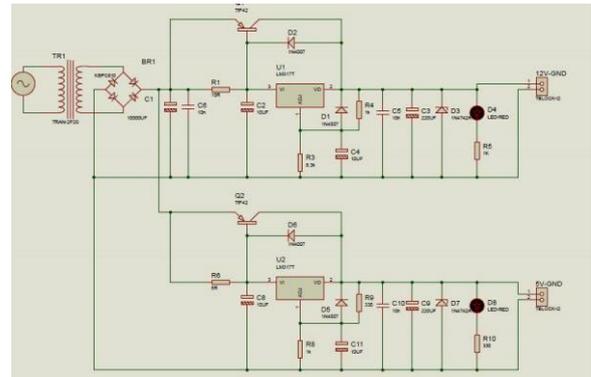


Figura 6. Circuito módulo de alimentación

Módulo de control

Este sistema consta con la capacidad de cumplir todas las exigencias expuestas por los demás módulos y las variables controladora del equipo, con el fin de realizar un buen trabajo, este módulo estará constituido por un PIC 16F877A, el cual posee 35 instrucciones que ofrece una serie de opciones maniobrables para la propuesta y además se adicionara un cristal posiblemente de 20 MHZ, el cual va a desarrollar una gran velocidad de respuesta del microcontroladores.

Dicho modulo es el delegado del control universal de todo el proceso de trillado



del café, este procesa todas las informaciones exteriores, como lo son el sensado, las interacciones de la máquina-usuario a través de pulsadores, permitiendo la visualización de a través del leds de los niveles de almacenamiento de la tolva.

A continuación se presentan las siguientes imágenes en donde se muestra el diagrama circuital del módulo de control en la Figura 7.

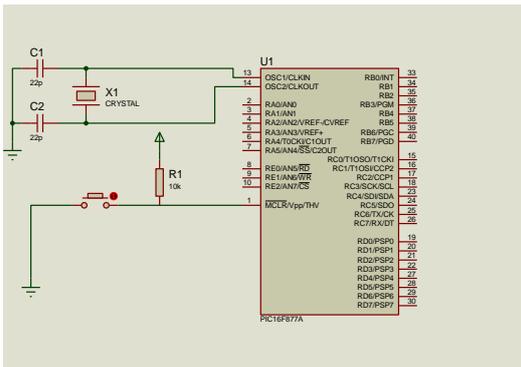


Figura 7. Circuito de Modulo de control

Módulo de Potencia

Éste módulo es el encargado de enviar la potencia a los motores para sus respectivos funcionamientos en la Figura 8 se muestran la conexión respectiva del circuito de potencia.

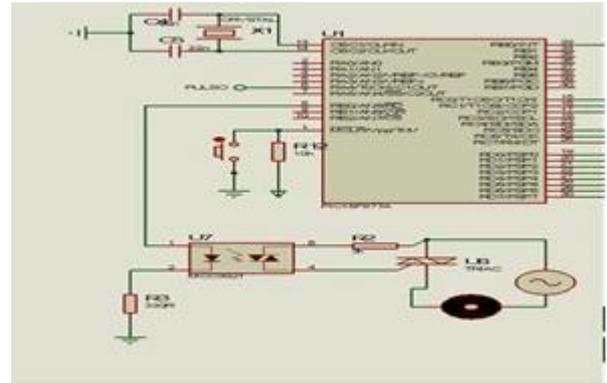


Figura 8. Circuito de potencia

Éste dispositivo cuando el controlador le envía la señal, el opto triac interno se activa dejando pasar la señal al gay del triac y este al recibir la señal cierra el circuito activando así el motor.

Para la potencia, su cálculo por medio de la ecuación

$$P = 2.2k\Omega \times (50mA)^2 \quad P = 5w$$

Calculo para la resistencia del opto triac MOC 3011, según su hoja técnica tiene un voltaje de 600v, una corriente de 1.2A, el diodo consume 3v y 50mA.

Para la potencia se obtiene

$$P = 40\Omega \times (50mA)^2 \quad P \approx \frac{1}{4}w$$



por los tres (3) indicadores del módulo de almacenamiento, un (1) led para el funcionamiento del módulo elevador y un (1) led para el funcionamiento del motor de la trilladora, de igual forma, el operador constara en este panel con cuatro (4) swiches en el cual su funcionamiento esta basado en inicio del funcionamiento, pare de emergencia y los otros (2) sirven solo para mover el motor del elevador o de la trilla por alguna medida de seguridad o de mantenimiento. De igual manera cuenta con una pantalla LCD en la cual se puede observar el menú de operación de esta maquina. El cual está conformado por la selección de automático manual y selección para el encendido de cada uno de los motores. Seguidamente se muestra el circuito de la interfaz en la Figura 10.

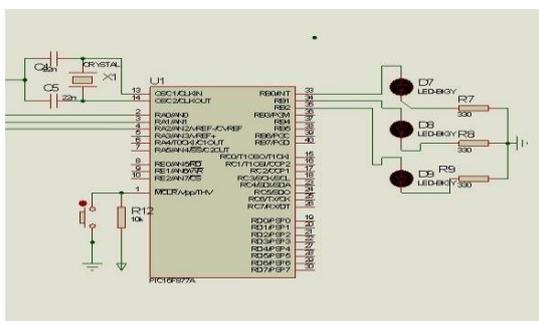


Figura 10. Circuito de interfaz

Módulo de motores

En este módulo se describe todos los motores respectivos con los que cuenta la automatización de trillado de café.

Para realizar el proceso de transporte de café pergamino, se utiliza un motor AC el cual estará acoplado al tornillo sin fin, este llevara el café hasta la tolva de la trilla.

Asimismo se contará con otro motor el cual será en encargado de trillar el café. A continuación se presentan la siguiente Figura 11 en donde se muestra el diagrama circuital del módulo de motores AC.

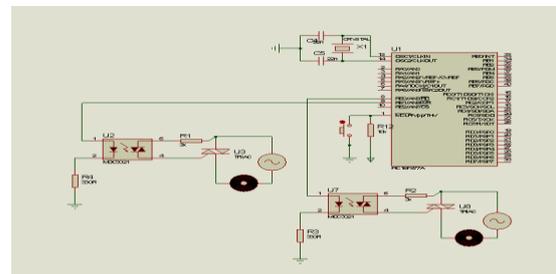


Figura 11. Módulo de motores AC

CONCLUSIONES

Gracias a la automatización en las industrias se ha podido optimizar todos los procesos industriales, mejorando las producciones y reduciendo los tiempos de fabricación. Con la automatización del proceso de trillado de café se mejora la calidad y eficiencia laborar. Con la



construcción de la investigación se pudo eliminar el trabajo repetitivo y constante de un trabajador. Logrando un diseño mecatrónico capaz de automatizar el sistema de trillado de café.

REFERENCIAS

- Arellano, J. y Bustamante, J. (2007). Automatización del proceso del café en la comunidad de Tlacuilotepec Puebla. Tesis de Pre-Grado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
- Beatriz F, DR Robkamr R. 2001 Guía de caficultores ecológicos.
- Bolton, W (2001). Mecatrónica sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica. Segunda edición. Editorial Alfaomega.
- Coughlin, R. (1993). Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales. Cuarta edición. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Ciudad de México. México.
- Duban-Henao, J., Soto, A., Gongora, M., y Cortes, F. (2010). Automatización de Secador de Café (Tipo Silo) de Laboratorio. [Pagina Web en línea], Disponible: <http://www.ingenieria yregion.com.co/articulos/09.-automatizacion-de-sec.pdf> [Consulta 2013 Marzo 31].
- Gómez E. y Rachadell F. (2003) Manejo de materiales. Venezuela.
- Instituto Nacional de Cooperación Educativa (INCE). (2008). Programa especial café.
- Mott, R. (2006). Diseño de elementos de Maquinas. Cuarta edición. Editorial Pearson. Ciudad México. México..
- Shigley, J (1985). Diseño en ingeniería Mecánica. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill. Ciudad de México. México..
- Savant, Jr (1992). Diseño electrónico circuitos y sistemas. Addison-Wesley. Buenos Aires.
- Téllez, L. (2005). Propuesta de automatización de beneficios secos de café utilizando PLC [Pagina Web en línea], Disponible: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0274_CS.pdf [Consulta 2013 Marzo 31].
- Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre". (UNEXPO). (2011). Manual de trabajos Especial de la Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre". Barquisimeto. Venezuela .