

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ENFARDADORA AUTOMÁTICA PARA LA COMPACTACIÓN DE CARTÓN, PAPEL Y PET CON CAPACIDAD DE HASTA 30 TONELADAS PARA LA EMPRESA GREEN POINT.

David Almache Bermeo, Alex Chiluisa Coello

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Quito, Ecuador

dralmache@hotmail.com

alexavier16@hotmail.com

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de una enfardadora automática para la compactación de materiales reciclados como cartón, papel o PET con una capacidad de producción de pacas de hasta 300 kg. La máquina está comandada por un PLC (Controlador Lógico Programable) y se controla todas las variables por medio de un HMI (Interfaz humano – máquina). Dependiendo del tipo de material que se requiere compactar, en la pantalla táctil se despliega las características de operaciones establecidas y variables tales como presión de trabajo, número de ciclos, número de pacas y peso de la paca. Adicionalmente, la máquina cuenta con parámetros de operación los cuales pueden ser modificados únicamente por el propietario de la máquina. La máquina tiene alarmas de trabajo para resguardar tanto la vida de los operarios como la vida útil de la máquina. Todo el diseño está basado en las diferentes ramas que conforman la Ingeniería Mecatrónica, enfocándose principalmente en la Ingeniería Mecánica, Eléctrica y de Control.

PALABRAS CLAVES: Enfardadora, materiales reciclados, Pacas, PLC, presión de trabajo.

ABSTRACT

This project consists of the design and construction of an automatic baler for compacting recycled materials as cardboard, paper or PET with a production capacity of up to 300 kg bales. The machine is commanded by a PLC (Programmable Logic Controller) and all variables are controlled by an HMI (Human - Machine Interface). Depending on the type of material that requires compact, on the touch screen is possible to see the operation features and variables such as work pressure, number of cycles, number of bales and bale weight is displayed. Additionally, the machine has operating parameters which can be modified only by the owner of the machine. The machine is working alarms to protect the operator's life and service life of the machine. The whole design is based on the different branches that make up Mechatronics Engineering, focusing primarily on the Mechanical, Electrical and Control Engineering.

KEYWORDS: Baler, recycled materials, bales, PLC, pressure.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumo de productos biodegradables y no biodegradables se ha convertido en un mercado muy amplio para explotar. Dichos productos vienen empacados o en presentaciones especialmente de cartón, papel y PET, después de ser usados se convierten en desechos o desperdicios que requieren ser reutilizados, estos son almacenados y enfardados.

Varias empresas utilizan enfardadoras automáticas comandadas por un tablero de control para realizar el proceso de compactación del material, otras empresas utilizan métodos manuales para la compactación y enfardado del material teniendo como resultado una eficiencia demasiado baja en dicho proceso, De ahí el motivo de el desarrollo del proyecto teniendo en cuenta el principal objetivo; el mejoramiento del proceso de producción y operación de la maquina mediante la automatización de un sistema electro-hidráulico usando una interfaz Humano-Maquina (HMI).

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se consideró 4 etapas.

Primera: Análisis de los requerimientos de la compactadora automática, funcionalidad y aplicación.

Segunda: Determinación de los elementos necesarios para lograr que la maquina tenga cierto nivel de inteligencia.

Tercera: implementación del estudio realizado y dimensionamiento definido en función de los requerimientos.

Cuarta: Se evalúa los resultados obtenidos se valoran mediante un análisis del cumplimiento de los objetivos.

III. LIMITACIONES DE DISEÑO

Se enfatiza el diseño de la compactadora de material reciclable en una maquina con un grado de inteligencia tal que se pueda controlar de modo automático y manual.

Los requerimientos para el desarrollo de la compactadora automática son los siguientes:

- Cap. compactación: 294kN
- Recorrido placa: 1m
- Red eléctrica: Trifásica 220V
- Velocidad compactación=40s
- Masa de las pacas= 200kg-300kg
- Dimensión fardo= 1,80x1,20x0,75
- Control: Pantalla Táctil HMI
- Posición máquina: Vertical
- Accionamiento: Cilindro Hidráulico

IV. DISEÑO MECATRÓNICO

SISTEMA HIDRAULICO

a) Selección del cilindro hidráulico.

De acuerdo a las limitaciones anteriormente definidas se ha seleccionado el cilindro hidráulico mediante la siguiente tabla y catálogo.

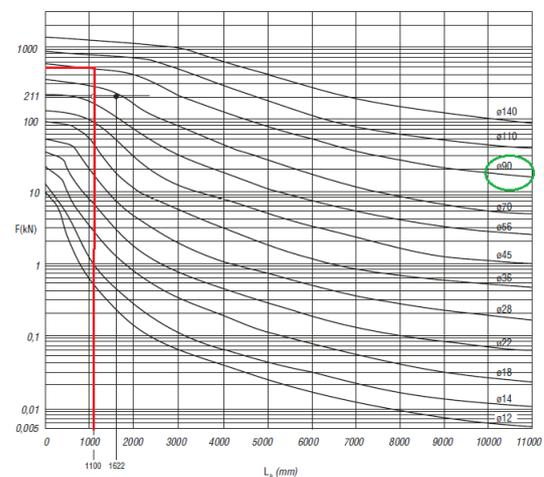


Figura 1. Gráfica de selección de un cilindro hidráulico.

CARACTERÍSTICAS		
Norma	ISO 6020/2 - DIN 24554	
Tipo de construcción	Con tirantes / con brida	
Presión nominal	160 bar	
Presión de prueba	240 bar	
Posición de montaje	Indiferente	
Temperatura ambiente	-20°C...+80°C con estanqueidad tipo 3-8 / -20°C...+160°C con estanqueidad vitón tipo 2	
Temperatura del fluido	-20°C...+80°C con estanqueidad tipo 3-8 / -20°C...+160°C con estanqueidad vitón tipo 2	
Fluido	Aceite mineral - Otros fluidos bajo demanda	
Viscosidad	12...90 cSt	
Filtración	Grado de filtración según NAS 1638 clase 9...10 a obtener con filtro $\beta_{10} = 75$	
Estanqueidad vástago y pistón	Ver codificación para pedido	
Ø Pistón [mm]	25 32 40 50 63 80 100 125 160 200	
Ø Vástago [mm]	12 18 14 22 18 28 22 36 28 45 36 56 45 70 56 90 70 110 90 140	
Velocidad máxima [m/s] Juntas tipo 3	0,5	
Velocidad máxima [m/s] Juntas tipo 6	0,4	
Velocidad máxima [m/s] Juntas tipo 8	0,7	
Longitud de amortiguación[mm]	Delantera	20 20 20 27 27 28 29 28 29 30 31 30 31 30 31 38 39 44 45
	Trasera	20 20 27 28 29 33 32 31 38 57
Carrera min. [mm]	Sin amortig.	—
	Con amortig.	45 45 60 65 65 70 70 70 85 110
Carrera max. [mm] con tirantes	—	250 300 400 500 600 700 800 1000 1100 1250
	—	250 800 1000 1200 1400 1700 2000 2300 2600 3000
Tolerancia de cámara	ISO 8135	

Figura 2. Características para la selección del cilindro hidráulico.

Datos del cilindro seleccionado:

$$D_{\text{piston}} = 200\text{mm}$$

$$D_{\text{vástago}} = 90\text{mm}$$

$$L = 1000\text{mm}$$

b) Presión y caudal de trabajo.

Sabiendo que la presión de trabajo es la fuerza aplicada sobre una superficie determinada se tiene que:

$$P = \frac{F}{A}; A = \pi r^2 = 31.42 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Donde:

r: es el radio del cilindro.

Sabiendo que el diámetro del pistón es 200mm

$$P = \frac{294300 \text{ N}}{31.42 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$P = 9,36 \text{ MPa (1358,71 psi)}$$

El tiempo de cada uno de los ciclos se establece en 40s aproximadamente.

$$Q = \frac{A * L}{t}$$

Q = Caudal, A = Area vástago,
L = longitud vástago

$$Q = \frac{31.4 \times 10^{-3} * 1}{40}$$

$$Q = 0,52 \frac{\text{l}}{\text{s}} (8,23 \text{ gpm})$$

c) Selección depósito oleo hidráulico

Referenciando los datos del cilindro hidráulico seleccionado se obtiene el volumen de aceite que ocupara el cilindro.

$$V_{\text{cil}} = A * l = 31.42 \times 10^{-3} * 1$$

$$V_{\text{cil}} = 31.42 \text{ L}$$

$$V_{\text{deposito}} = 3 * V_{\text{cil}} = 94.26\text{L}(25\text{gl})$$

d) Aceite lubricante RANDO 46.

El aceite lubricante se seleccionó por recomendación del proveedor de la centralina hidráulica y por sus aplicaciones en sistemas industriales. Los aceites RANDO HD son fluidos hidráulicos formulados con bases parafinitas destiladas de excelente estabilidad y de alto índice de viscosidad. El aceite a utilizar es el RANDO 46, ya que contienen una cuidadosa y selectiva composición química que les otorga buenas propiedades antidesgaste, anti espuma y antioxidantes.

SISTEMA MECÁNICO.

Se enfatizó el diseño mediante el análisis a fatiga de los elementos que están expuestos a soportar grandes cargas.

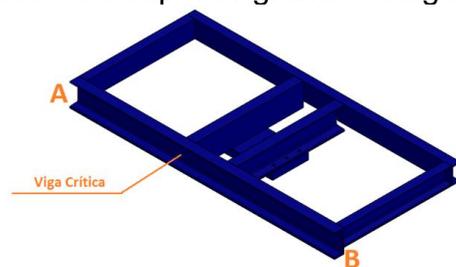


Figura 3. Viga Crítica AB.

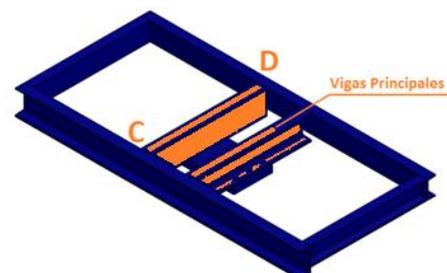


Figura 4. Viga Principal CD.

El material utilizado en los elementos que soportan grandes cargas es Acero ASTM A36, las propiedades mecánicas son: $S_{ut} = 410 \text{ MPa}$ (58 kpsi), $S_y = 250 \text{ MPa}$ (36 kpsi), usado para la conformación de estructuras ya que tiene una notoria deformación antes de llegar a la fractura.

Ciertos componentes de la máquina son sometidos a fuerzas fluctuantes y alternantes de tal forma que se consideró necesario realizar un estudio de fatiga de dichas partes.

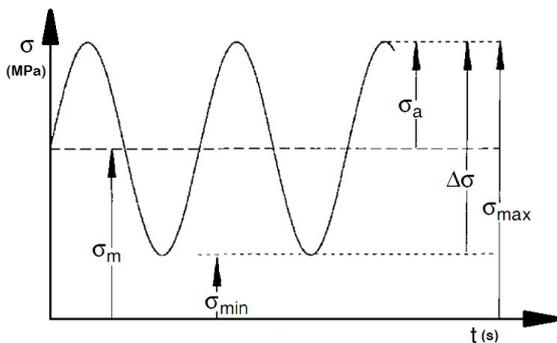


Figura 5. Diagrama general de esfuerzos fluctuantes alternantes.

Para el análisis a fatiga se considera factores que modifican la resistencia del material debido a varios parámetros de trabajo.

Tabla 1. Factores resistencia a la fatiga.

FACTORES QUE MODIFICAN EL LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA	
k_a	Condición superficial
k_b	Tamaño
k_c	Carga
k_d	Temperatura
k_e	Confiability
k_f	Varios

a) Dimensionamiento de la viga AB

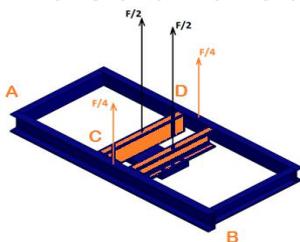


Figura 6. Distribución de fuerza en las vigas AB y CD.

La fuerza que la viga AB soporta es igual a la cuarta parte de la ejercida por el cilindro.

$$F_{\text{trabajo}} = 294.30 \text{ kN}$$

Teniendo en cuenta que la capacidad de compactación debe ser de 294.3kN (30 t) se obtuvo:

$$F_{\text{max}} = 147.15 \text{ kN}$$

$$F_{\text{min}} = -9.81 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 121.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{min}} = -4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}}{2} \right| = 62.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}}{2} = 58.7 \text{ MPa}$$

Se obtiene el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

$$S'_e = 0,5 * S_{ut} = 250 \text{ MPa}$$

Se calculó los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

$$a = 4,51$$

$$b = -0,265$$

$$k_a = 4.51 * 410^{-0.265}$$

$$k_a = 0.92$$

Debido a que la viga tiene sección tipo C, se calcula la distancia efectiva.

$$k_b = 1.51 * d^{-0.157}$$

$$d_e = 0,808 * \sqrt{h * b}$$

d_e = distancia efectiva,

h = altura, b = ancho

$$d_e = 82.4 \text{ mm}$$

$$k_b = 1.51 * 82.4^{-0.157} = 0.76$$

La viga AB es sometida a una carga a flexión por lo que el factor modificador de carga es igual a 1.

$$k_c = 1$$

Confiability del 50% $k_e = 1$

El límite de resistencia a la fatiga es:

$$S_e = 0.92 * 0.76 * 1 * 1 * 205$$

$$S_e = \mathbf{143.34 \text{ MPa}}$$

Con los valores obtenidos se calculó el factor de seguridad basado en el criterio de falla ASME-Elíptica.

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2}} = 2,1$$

b) Dimensionamiento de la viga CD

La fuerza que la viga CD soporta es igual a la mitad de la fuerza ejercida por el cilindro, ya que esta fuerza se divide en las dos vigas CD.

$$F_{\max} = 147.15 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\max} = 118.9 \text{ MPa}$$

$$F_{\min} = -9.81 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\min} = -3.96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \left| \frac{118.9 - (-3.96)}{2} \right| = \mathbf{61.43 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_m = \frac{118.9 + (-3.96)}{2} = \mathbf{57.47 \text{ MPa}}$$

Se obtuvo el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

$$S'_e = 0,5 * S_{ut} = \mathbf{205 \text{ MPa}}$$

Se calculó los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.

$$k_a = \mathbf{0.92}$$

Debido a que la viga tiene sección tipo C, se calcula la distancia efectiva.

$$k_b = 1.51 * 82.4^{-0.157} = \mathbf{0.76}$$

La viga es sometida a una carga a flexión entonces.

$$k_c = \mathbf{1}$$

Confiabilidad del 50% $k_e = \mathbf{1}$

El límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = 0.92 * 0.76 * 1 * 1 * 205$$

$$S_e = \mathbf{143.34 \text{ MPa}}$$

Con los valores obtenidos se calculó el factor de seguridad basado en el criterio de fatiga ASME-Elíptica

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2}}$$

$$nf = \mathbf{2,1}$$

c) Análisis del vástago del cilindro

Pandeo:

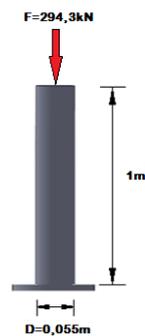


Figura 7. Vástago del cilindro hidráulico.

L_e = longitud efectiva

$$L_e = \frac{1}{2} = \frac{1\text{m}}{2} = 0,5\text{m};$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \text{Radio de giro}$$

I = inercia de la sección

$$= \frac{\pi * d^4}{64}$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$r = 0,01375\text{m} (13,8\text{mm})$$

Se usa la fórmula de Johnson

$$P_{cr} = A * S_y \left[1 - \frac{S_f * \left(\frac{L_e}{r}\right)^2}{4 * \pi^2 * E} \right]$$

$$P_{cr} = \mathbf{592,3\text{kN}}$$

$$n = \frac{\text{Fuerza critica}}{\text{Fuerza aplicada}} = 2,01$$

Fatiga:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A} = 123,872 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{F_{\min}}{A} = 4,129 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \right| = 59,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = 63,9 \text{ MPa}$$

El límite de resistencia a la fatiga es:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

$$S'_e = 0,5 * S_{ut} = 0,5 * 410$$

$$S'_e = 205 \text{ MPa}$$

Se calculó los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.

$$k_a = 0,92$$

Debido a que el vástago está sometido a fuerza axial.

$$k_b = 1$$

$$k_c = 0,85$$

Confiabilidad del 50% $k_e = 1$

El límite de resistencia a la fatiga es:

$$S_e = 0,92 * 1 * 0,85 * 1 * 205$$

$$S_e = 160,31 \text{ MPa}$$

Con los valores obtenidos se calculó el factor de seguridad basado en ASME-Elíptica.

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2}} = 2,2$$

d) Dimensionamiento de los prisioneros

Se consideró el peso de la placa compactadora y se distribuye de manera

uniforme en tres partes debido a que se colocaron 3 prisioneros equidistantes

$$F_{\text{placa}} = 9,81 \text{ kN}$$

$$F_{\text{prisionero}} = \frac{F_{\text{placa}}}{3} = 3,27 \text{ kN}$$

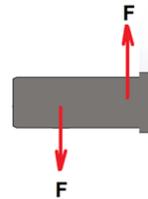


Figura 8. Prisionero.

$$\tau = \frac{F_{\text{cortante}}}{A} = \frac{F_{\text{paca}}}{\Pi * \frac{d_p^2}{4}}$$

d_p = diámetro del prisionero

$$d_p = \sqrt{\frac{4 * F}{\Pi * \tau}}$$

$$d_p = 5,08 \times 10^{-3} \text{ m} = 5,08 \text{ mm}$$

Se consideró un valor normalizado de prisionero M8

El material utilizado es Acero ASTM A36.

$$F_{\max} = 3,27 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\max} = 65,05 \text{ MPa}$$

$$F_{\min} = 0; \sigma_{\min} = 0$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = 32,5 \text{ MPa}$$

Se obtiene el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_e * k_f * S'_e$$

$$S'_e = 0,50 * 410 = 205 \text{ MPa}$$

Se calculó los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

$$a = 4,51 \quad b = -0,265$$

$$k_a = 4,51 * 410^{-0,265}$$

$$k_a = 0,92$$

De acuerdo al diámetro seleccionado para el pasador, se sugiere el siguiente factor de tamaño

$$k_b = 1.24 * d_p^{-0,107}$$

$$k_b = 1.24 * 8^{-0,107}$$

$$k_b = 0.99$$

Los prisioneros son sometidos a una carga cortante por lo que el factor de carga es:

$$k_c = 0,59$$

Confiabilidad del 50% $k_e = 1$

El límite de resistencia a la fatiga es:

$$S_e = 0,92 * 0,99 * 0,59 * 1 * 1 * 205$$

$$S_e = 110,1 \text{ MPa}$$

Con los valores obtenidos se calculó el factor de seguridad basado en el criterio de falla ASME-Elíptica.

$$nf = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_y}\right)^2}} = 3,09$$

SISTEMA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

a) Selección del motor

Se calculó la potencia requerida por la máquina.

$$P_e = \text{Potencia eléctrica}$$

$$Q = 0.52 \frac{\text{lbs}}{\text{seg}} = 31.2 \frac{\text{lbs}}{\text{min}}$$

$$P = 93.6 \text{ Bar}$$

$$E_f = \text{Ef. del motor (85\%)}$$

$$P_e = \frac{Q * P}{600 * E_f} = 5,7 \text{ kW (8hp)}$$

Debido a que la potencia máxima de trabajo requerida para la compactación de las pacas es 5.73 kw se ha seleccionado un motor de 7.46 kw (10 hp) trifásico a 220V es un valor normalizado se acerca al valor del dimensionamiento.

Datos técnicos:

Marca: SIEMENS
Alimentación: trifásica
Potencia: 7,46kw (10hp)

Voltaje: 220V/440 V
Velocidad nominal: 1755 RPM
Corriente nominal: 25 A
Frecuencia: 60Hz
Cosφ: 0,85

b) Selección del conductor eléctrico

La potencia nominal es de 7.46 kw (10 hp). Con este valor se realizó el dimensionamiento de los conductores eléctricos. Se determinó la corriente nominal que deben soportar los mismos.

$$P_e = 7.46 \text{ kw (10 hp); } V = 220V$$

$$P_e = \sqrt{3} * V_L * I_N * \cos\phi * N$$

$$V_L = \text{voltaje de trabajo}$$

$$I_N = \text{Corriente nominal}$$

Adicionalmente se asume el factor de potencia a plena carga de $\cos\phi = 0.9$ y una $N =$ eficiencia del motor a plena carga de 0.8.

$$I_N = \frac{P_e}{\sqrt{3} * V_L * \cos\phi * N}$$

$$I_N = 27.20 \text{ A}$$

La norma NEC en la sección 430-22, establece que el conductor que alimenta a un solo motor de corriente alterna, debe tener una capacidad no menor a 125% de la corriente nominal del motor, entonces tenemos $\text{Factor}_1 = 1,25$.

$$I = 1,25 * 28A = 35A$$

Con este valor de corriente y en base a la tabla de conductores se obtuvo que el cable necesario es el Cable #10 AWG flexible tipo THWN 75°C.

c) Selección de contactores

Se seleccionó los contactores en base a la potencia que estos deben soportar, para lo cual se sobredimensionó al 125% de la potencia nominal del motor (P_n):

$$P_{\text{contactor}} = 1.25 * P_n$$

$$P_{\text{contactor}} = 1.25 * 7.46 \text{ kw}$$

$$P_{\text{contactor}} = 9,33 \text{ kw (12.5 hp)}$$

Los contactores utilizados tienen las siguientes características:

- Accionamiento: electromagnético.
- Voltaje nominal: 220v.
- Intensidad nominal: 28A.
- Frecuencia: 60Hz.
- Clase de servicio: Intermitente.
- Voltaje de bobina: 110v.
- Contactos auxiliares: 1NA

d) Selección de la protección eléctrica

Teniendo en cuenta la protección a la parte eléctrica de la unidad de compactación se utiliza un guardamotor. Los fabricantes recomiendan un ajuste de +/-20% de corriente nominal del motor

$$A. C. = I_N + / - 0,20I_N$$

$$A. C. = \text{Ajuste de Corriente}$$

$$A. C. = 28 + / - 0,2 * 28$$

$$A. C. = 28 + / - 5,6$$

Se selecciono un guardamotor con regulación de corriente hasta 32A.

e) Controlador lógico programable

Es un PLC compacto que incorpora una pantalla táctil a la cual se le ha complementado con un módulo análogo y un módulo digital para los finales de carrera.

Características técnicas:

- Marca: Renu Electronics
- Código FP5043T-E
- Fuente de poder: 24Vdc
- CPU y pantalla táctil compacta de 4,3pulgadas.
- 3 puertos para conexión de módulos análogos y digitales
- Comunicación: 2 COM port, 1 RS232/1 RS485, 2 USB port
- Modulo análogo (FPEA-0402U-16): 4 entradas y 4 salidas.
- Modulo digital(FPED-HS-0808N): 7 entradas o salidas a transistor

SISTEMA DE CONTROL

a) Descripción del proceso

Consiste en tres etapas Alimentación:

Conmutar el disyuntor principal para energizar la unidad de compactación, energizar el gabinete mediante el pulsador de "START", manipular la pantalla táctil para el seteo inicial.

Insertar el material a compactar en la cavidad receptora del material hasta un nivel establecido, cerrar la puerta y verificar permisivos.

Compactación: Manipular la pantalla táctil, seleccionar el tipo de material y proceder al proceso de compactación mediante la botonera de la pantalla táctil.

Desalajo: Una vez que se ha terminado los ciclos de compactación mediante los pulsadores de la pantalla táctil fijar a la placa compactadora en el nivel establecido para proceder a enfardar con cinta de embalaje.

b) Diseño del HMI

El diseño de las pantallas para la operación de la unidad compactadora se las realizó de tal forma que facilite su manipulación y entendimiento por parte del operario, además se ha realizado un control de seteo de las variables del proceso mediante el ingreso con una clave que dispondrá solo el personal autorizado. Las pantallas táctiles incorporan un listado de acciones las cuales son indispensables al momento de operar la unidad compactadora tales como pantallas en la que se representan valores de los parámetros de funcionamiento y seteo de nuevos valores de trabajo.

A continuación se muestra un esquema de distribución del árbol de las pantallas.



Figura 9. Árbol de pantallas.

c) Programación Ladder

Se ha realizado la programación para el control de la unidad de compactación mediante lenguaje de programación ladder.

Asignación de las variables (tags) para la programación de los eventos e interacción con la pantalla táctil.

Acondicionamiento interno de las señales análogas y digitales de los sensores de presión, temperatura y finales de carrera.

Control de acceso para manipulación del seteo de las variables.

Control del arranque estrella-triángulo para el motor trifásico, mediante un juego de bobinas y temporizadores.

Visualización de permisos del proceso.

Control de encendido, pausa y stop del proceso de compactación del material reciclado.

V. PRUEBAS Y RESULTADOS.

Se realizó las pruebas de la compactadora automática en vacío y a carga nominal en las cuales se enfatizó la supervisión en las siguientes partes:

Diseño del sistema mecánico, hidráulico, eléctrico y de control.

Funcionamiento del sistema mecánico, hidráulico, eléctrico y de control.
Flexibilidad de seteos de variables para cada uno de los materiales.

Tiempos de trabajo de la unidad de compactación durante el proceso de compactación.

Restricciones de acceso a pantallas del HMI.

Niveles de protección para el operador y para la unidad de compactación.



Figura 10. Compactadora automática.

Como resultado se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 2. Factores resistencia a la fatiga.

Material	Cartón	Papel	PET
Parámetros			
Presión (Bar)	70	50	90
Masa (kg)	235	200	300
Fuerza (tonelada)	22	16	30
Dimensión (mm)	1200X1800X750		
Sujeción	Alambre		
Número de ciclos	6	4	8
T. aplastamiento	5	4	8
Pacas-Hora	4	5	3

VI. CONCLUSIONES

La construcción de la enfardadora automática para la empresa GREEN POINT ayudara a mejorar la producción y optimizar tiempos de trabajo, de esta manera se aporta al desarrollo de la empresa.

En base a las pruebas realizadas con la enfardadora automática, se tiene como resultado del proceso de compactación una paca que oscila en un rango de 200Kg a 300Kg dependiendo el material que ha sido compactado.

Se desarrollo la programación necesaria tanto de la pantalla táctil como de las condiciones del control del proceso de compactación de tal forma que facilito la manipulación mediante el seteo de las variables de control por parte del operador haciendo mucho más flexible el uso de la enfardadora automática.

En el proceso de fabricación de las partes y durante la etapa de ensamblado de las mismas los planos mecánicos, eléctricos, electrónicos fueron de vital importancia para realizar un correcto trabajo de montaje y ensamblado de la maquina.

Según ensayos realizados con la enfardadora automática; la compactación de cartón requiere una presión de 70Bar la compactación de plástico requiere una presión de 90Bar y la compactación de papel requiere una presión de 50Bar.

Durante el proceso de aprendizaje por parte del operador, el manual de operación de la máquina fue de vital importancia para realizar una correcta maniobra de la enfardadora automática ya que mediante la guía secuencial de operación se cumplió la correcta forma de funcionamiento de la máquina.

VII. RECOMENDACIONES

Debido a la recuperación elástica del volumen del material compactado es necesario colocar uñas de sujeción en las paredes de la enfardadora que impidan que el material compactado recupere su volumen original.

Se debe considerar importante la implementación de un sistema para cargar

el material a compactar hacia la cavidad de la enfardadora, debido a que actualmente se torna una tanto engorroso el proceso de alimentación de material a la cavidad de compactación.

Es recomendable realizar una adaptación de galgas extensiométricas para sensar el peso de cada fardo compactado y de esa manera poder llevar una contabilidad estricta de la producción de las pacas ya sea diaria, mensual o anual.

Se recomienda la adaptación de un sistema de puerta superior para la enfardadora automática la misma que envíe una señal eléctrica al PLC y de esa manera evitar que el operador introduzca las manos durante el proceso de la compactación del material todo esto para aumentar la seguridad de la maquina.

VIII. REFERENCIA

Aciarium. (2009). Pasador par arandela de seguridad. Retrieved Diciembre, 2013, from

http://www.aciarium.com/portal/index.php?page=shop.browse&category_id=9&option=com_virtuemart&Itemid=1

AGSA. (2012). Guardamotores. Retrieved 17 Mayo, 2014, from <http://www.agsa.com/p79-guardamotores.html>

Amidata.). Válvulas de control selenoides. Retrieved Diciembre, 2013, from <http://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-control-accionado-por-solenoide-piloto-neumaticas/2102710/>

Ávila, Alejandro. (2010). Mantenimiento de bombas hidráulicas. Retrieved Diciembre, 2013, from <http://avilaselvera2.blogspot.com/2010/04/bombas-hidraulicaslobularde.html>

Budynas, Richard, & Nisbett, Keith. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw Hill.

Ciclo secuencial de dos cilindros. (2013). Retrieved Diciembre, 2013, from http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/index.php/Assignment_I:_Ciclo_secuencial_de_dos_cilindros

CIFP. (2008). Arranque estrell-triángulo. Retrieved Noviembre, 2013, from http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=15&id_sec=6

Ciri. (2011). Bomba de 2 pistones. Retrieved 17 Mayo, 2014, from <http://catiaeinventorconciri.blogspot.com/2011/10/blog-post.html>

Cohimar. (2012). Cálculo de empuje. Retrieved Junio, 2013, from <http://www.cohimar.com/util/neumatica/mapadelsitio.html>

DirectIndustry.). Tanque hidráulico. Retrieved Diciembre, 2013, from

<http://www.directindustry.es/prod/lovejoy/tanques-hidraulicos-7199-627082.html>

Etincelle. (2011). Historia del reciclaje. Retrieved Noviembre, 2013, from <http://bellabrigada.wordpress.com/2011/11/22/la-historia-del-reciclaje/>

Glual. (2007). Diseño y fabricación de grupos hidráulicos (pp. 13,18,113). México.

Herramientas, De Máquinas y. (2012). Prensas Hidráulicas. Retrieved 15 Mayo, 2014, from