



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA

MONOGRAFÍA, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA

TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE MOLIENDA PARA LA PRODUCCIÓN DE HARINA, MEDIANTE EL USO DE ELEMENTOS ELECTROMECAÁNICOS

AUTOR:
CHICAIZA IZA, ELVIS VINICIO

TUTOR: ING. BUSTILLOS ESCOLA, DIEGO ISRAEL MSc.

LATACUNGA, FEBRERO 2023



Planteamiento del problema



Elevados tiempos aplicados en el proceso de molienda.

Esfuerzo físico:

- Fatiga.
- Enfermedades de columna.

Baja calidad del producto:

- Perdidas económicas.



SECTORES AGRÍCOLAS



Objetivos

General

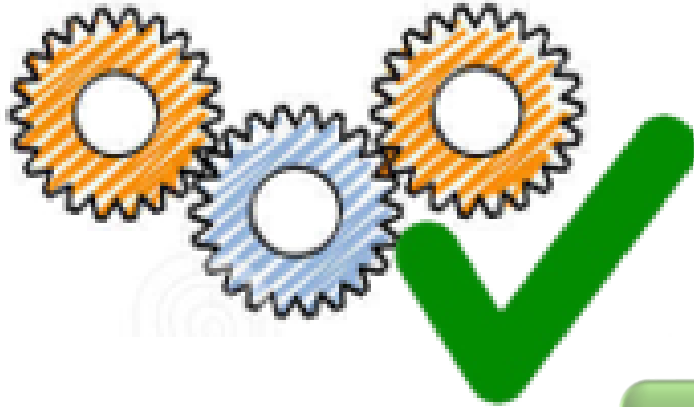
- Implementar un sistema semiautomático de molienda para la producción de harina, mediante el uso de elementos electromecánicos.

Específicos

- Analizar proyectos similares para el entendimiento del estado de arte y plantear marco teórico del proceso y de los elementos electromecánicos.
- Seleccionar y describir las características de los elementos del sistema mecánico y el sistema de control.
- Implementar el sistema de molienda semiautomático acoplando el sistema de control semiautomático al sistema mecánico.
- Resultados y conclusiones del proyecto.

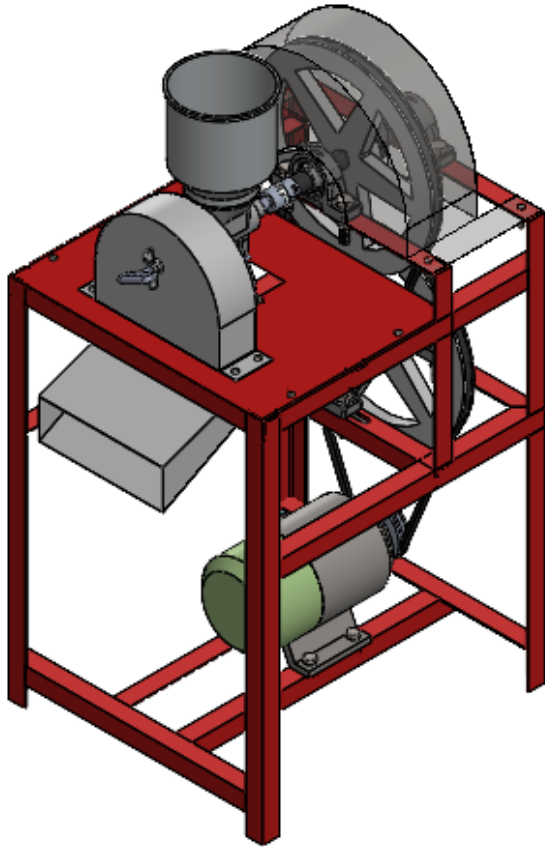


Alcance



Desarrollo

Diseño del prototipo



Transmisión
de potencia

Carga requerida para molienda (Molino Corona)

Para conocer el Torque necesario de molienda se calculó con la fuerza requerida y la distancia del mango del molino.

Cálculo del torque requerido

$$T = Fr$$

$$T = 104.86N * 0.23m$$

$$T = 24.11 Nm$$

Velocidad de funcionamiento

De acuerdo a pruebas realizadas el molino puede operar a velocidades de 70 a 120 rpm.

Velocidad adecuada= 110 rpm.



Potencia y velocidad de entrada

Características del motor

Potencia: 0,75 HP

Velocidad: 1725 rpm

Torque del motor

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{560 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1725 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}}$$

$$T = 3.10 \text{ Nm}$$

Reducción de velocidad

Para poder aproximarse a los datos requeridos para el molino de acuerdo a los datos del motor, se utiliza un sistema de poleas.

Primer tren reductor de poleas

Velocidad

$$n_2 = \frac{\phi_1 \cdot n_1}{\phi_2}$$

$$n_2 = \frac{3 \cdot 1725 \text{ rpm}}{12}$$

$$n_2 = 431.25 \text{ rpm}$$

Torque

$$T_1 = \frac{560 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{431.25 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}}$$

$$T_1 = 12.40 \text{ Nm}$$

Segundo tren reductor de poleas

Velocidad

$$n_4 = \frac{\phi_3 \cdot n_2}{\phi_4}$$

$$n_4 = \frac{3 \cdot 431.25 \text{ rpm}}{12}$$

$$n_4 = 107.81 \text{ rpm}$$

Torque

$$T_2 = \frac{560 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{107.81 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}}$$

$$T_2 = 49.60 \text{ Nm}$$

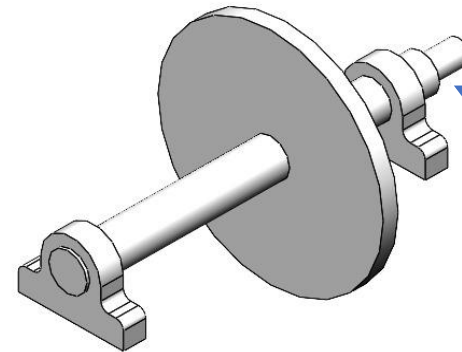
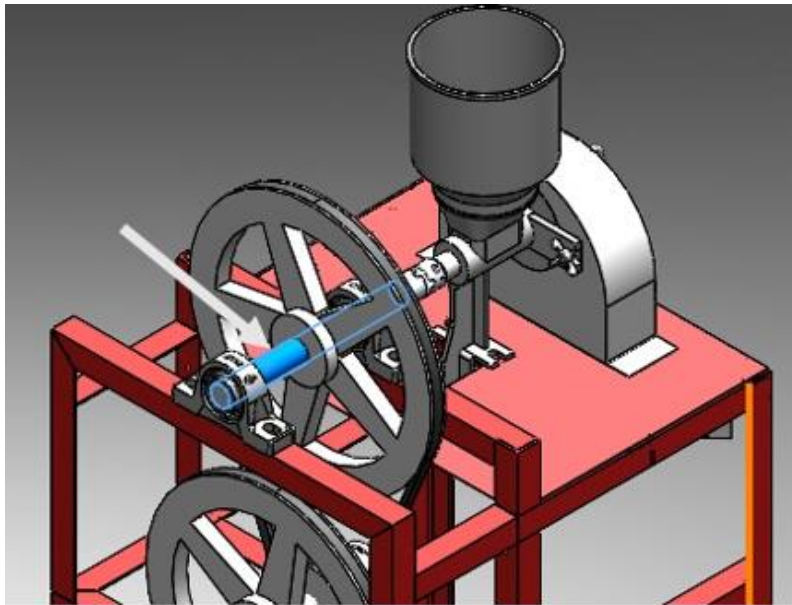
$$n_4 \approx 110 \text{ rpm} \checkmark$$

$$T_2 \geq 24,11 \text{ Nm} \checkmark$$



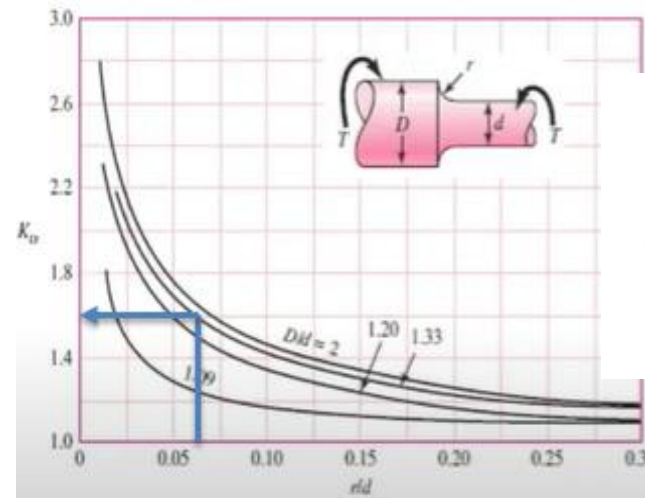
Validación mecánica

Selección de elemento mecánico



Cambio de sección

Análisis de falla por esfuerzo cortante máximo



$$\tau = \frac{16T}{\pi(d)^3} (Kt)$$

$$\tau = \frac{16(49.600Nmm)}{\pi(16mm)^3} (1.6)$$

$$\tau = 98.67 \text{ Mpa}$$

En el elemento seleccionado existe un mayor torque, por lo que es mas propenso a fallar.

Factor de seguridad del elemento

Características del elemento

Especificaciones del material del eje: **Acero AISI 1020**

Resistencia a la tensión $S_u = 420 \text{ MPa}$

Resistencia de fluencia $S_y = 352 \text{ MPa}$

Límite cortante

$$S_\tau = \frac{S_y}{\sqrt{3}}$$

$$S_\tau = \frac{352 \text{ Mpa}}{\sqrt{3}}$$

$$S_\tau = 203.22 \text{ Mpa}$$

$$F_s = \frac{S_\tau}{\tau}$$

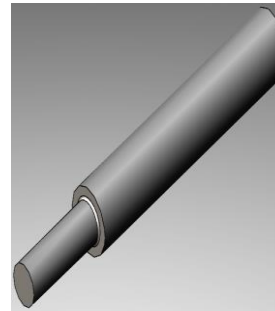
$$F_s = \frac{203.22 \text{ Mpa}}{98.67 \text{ Mpa}}$$

$$F_s = 2.06 \checkmark$$

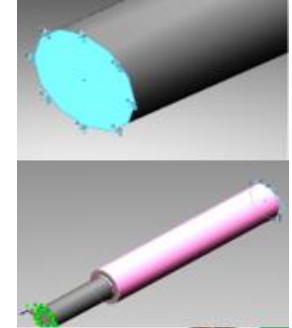
Con el FS obtenido el elemento trabajara en adecuadas condiciones sin deformarse.

Análisis por software (SolidWorks)

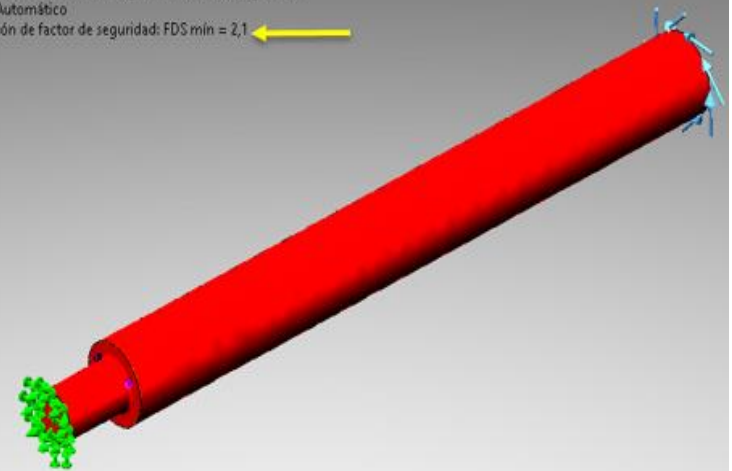
Diseño del elemento



Cargas y sujeciones



Nombre del modelo: EJE PRINCIPAL
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Default-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2,1



Selección de los elementos (sistema mecánico)

Molino (Marca Corona)



Análisis del proceso de forma manual

Materia prima	Cantidad de ingreso	Contextura del producto	Tiempo de molienda	Cantidad de producto procesado	Perdida del producto
Maiz	3 lb (1360.78 gr)	Molienda media	345 seg.	2.84 lb (1290.78 gr)	70 gr
		Molienda fina	480 seg.	2.86 lb (1310.78 gr)	50 gr
Morocho	3 lb (1360.78 gr)	Molienda gruesa	540 seg.	2.93 lb (1316.76 gr)	30 gr
		Molienda media	630 seg.	2.90 lb (1315.78 gr)	45 gr



Cálculo de la potencia requerida

$$P = T\omega$$

$$P = 37.5 \frac{N}{m} \cdot \left(110 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}\right)$$

$$P = 0.432 \text{ kW}$$

Motor



Especificaciones del motor

Marca	WEG
Modelo	Abierto
Potencia HP	0.75
Potencia kW	0.5592749
Tensión	110V/220V
RPM	1725



Conversión de HP a kW

$$P = 0.75 \text{ HP} \cdot \frac{745.7 \text{ W}}{1 \text{ HP}} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 0.56 \text{ kW}$$



Poleas



Diámetros mínimos en mm para las poleas de acuerdo con la potencia del motor

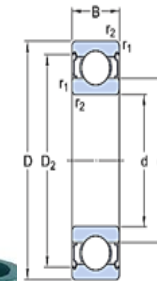
Caballos de fuerza (HP)	RPM de Motor			
	900	1200	1800	3600
0.50	65	-	-	-
0.75	65	65	-	-
1.00	65	65	60	-
1.50	75	65	65	60
2.00	75	65	65	65
3.00	75	75	65	65
5.00	100	75	75	65
7.50	115	100	75	75
10.00	115	115	100	75
15.00	135	115	115	100
20.00	155	135	115	115
25.00	170	155	115	115
30.00	170	170	135	-
40.00	210	170	155	-
50.00	230	210	170	-
60.00	260	230	190	-
75.00	260	260	230	-
100.00	350	350	250	-
125.00	380	350	280	-
150.00	465	350	-	-
200.00	550	-	-	-
250.00	-	-	-	-
300.00	-	-	-	-

Bandas de transmisión



Tipo de trabajo	Factor de corrección	Condición de trabajo
Trabajo libre	1	Trabajo intermitente. Funcionamiento ≤ 6 horas diarias sin sobrecargas Sobrecarga máxima momentánea o carga normal
Trabajo normal	1.2	en el arranque inicial $\leq 150\%$ de carga normal Funcionamiento de 6-16 horas diarias
Trabajo pesado	1.4	Sobrecarga máxima momentánea o carga en el arranque inicial $\leq 250\%$ de carga normal Funcionamiento continuo de 16-24 horas diarias
Trabajo <u>extrapesado</u>	1.6-2	Sobrecarga máxima momentánea o carga en el arranque inicial $\leq 250\%$ de carga normal, frecuencias de sobrecargas momentáneas o frecuentes arranques. Funcionamiento continuo de 24 horas diarias, 7 días por semana

Chumaceras



Dimensiones

d	25.4 mm	Diámetro del agujero
D	57.15 mm	Diámetro exterior
B	15.875 mm	Ancho
d ₁	= 35.58 mm	Diámetro del resalte
D ₂	= 49.33 mm	Diámetro de rebaje
r _{1,2}	min. 1.6 mm	Dimensión del challán



Selección de los elementos (sistema de control)

Contactor



Características técnicas	Valores
Corriente de trabajo máxima	18 A
Voltaje	120 V AC
Temperatura de operación	-5 a 60° C
Numero de polos	3 Polos
Peso bruto	359.5g

Relé térmico



Características técnicas	Datos
Contactos auxiliares integrados	NO + NC
Campo de ajustes de disparador de cortocircuito	12A – 18A
Temperatura de trabajo	-5 a 60° C
Peso bruto	184.1g

Temporizador ON DELAY



Características técnicas	Datos
Tensión de alimentación	AC 110V, 220V, 380V, 440V DC 12V, 24V
Frecuencia	50/60Hz
Temperatura de trabajo	-10 a 55° C

Pulsadores



Paro de emergencia



Conductores eléctricos



Cálculo de corriente

$$I = \frac{P}{V(\cos\phi)}$$

$$I = \frac{559.5W}{110V(0.48)}$$

$$I = 10.59 A$$

Cálculo de corriente de sobrecarga

$$I_s = I_n + I_n(0.25)$$

$$I_s = 10.59 A + 10.59 A(0.25)$$

$$I_s = 13.24 A$$

Disyuntor de protección



Tabla de calibre de cables eléctricos AWG

AMPERAJE - CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW,THW, THWN	THHN,XHHW-2 THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
Calibre de cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A



Desarrollo del sistema mecánico (Molino)

Ensamblaje



1

1. Montaje del motor



2

2. Montaje de las poleas



3

3. Montaje del molino



4

4. Ajuste y alineación de las bandas

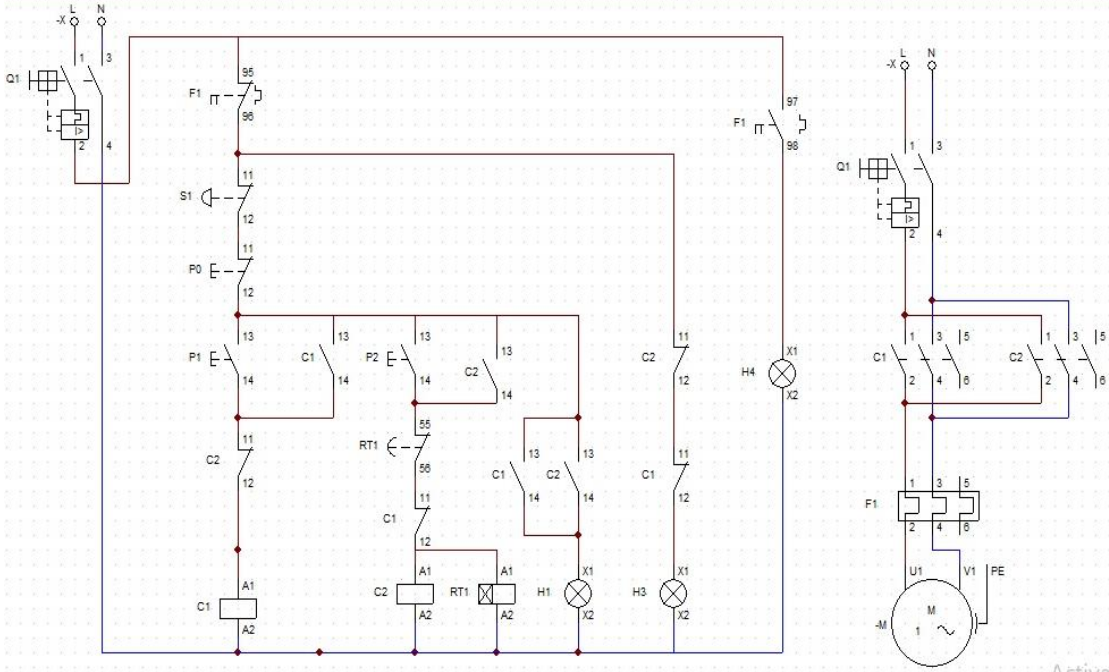


5

5. Sistema mecánico del molino completo

Desarrollo del sistema de control semiautomático

Diagrama de control y potencia



Condiciones de funcionamiento

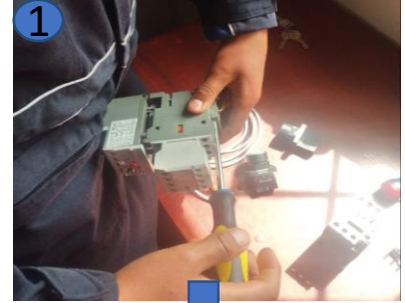
Control manual:

- Con el pulsador P1 se pondrá en marcha la máquina, y con el pulsador P0 se apagará.

Control semiautomático:

- Con el pulsador P2 se pondrá en marcha la máquina por un tiempo estimado para luego apagarse automáticamente.

Cableado



Funcionamiento



Sistema completo



Integración del sistema mecánico y de control



Conexión del tablero de control con el sistema mecánico



Prototipo final

Panel de control

PARO DE EMERGENCIA

PULSADOR DE PARO DE MOTOR

INDICADOR DE MARCHA

PULSADOR DE PROCESO MANUAL

PULSADOR DE PROCESO SEMIAUTOMATICO

INDICADOR DE RELÉ TERMICO

INDICADOR DE PARO



Pruebas de funcionamiento

Materia prima



Control manual



Control semiautomático



Producto terminado



Resultados

Resultados de funcionamiento

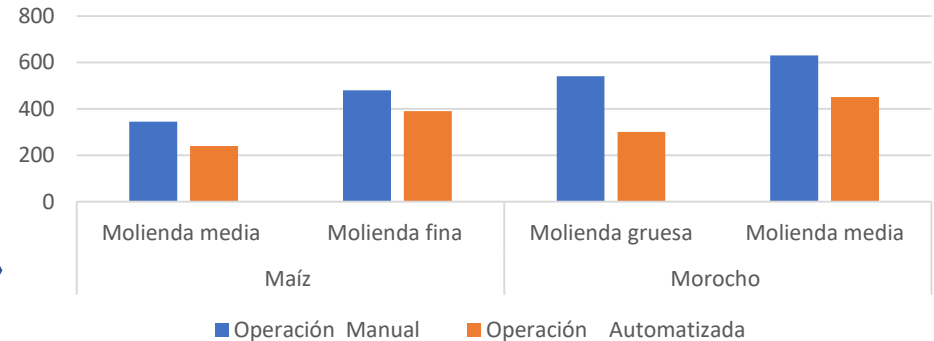
Materia prima	Cantidad de ingreso	Contextura del producto	Tiempo necesario de molienda	Cantidad de producto procesado
Maíz	3 lb (1360.78 gr)	Molienda media	240 <u>seg.</u>	2.98 lb (1271.76 gr)
		Molienda fina	390 <u>seg.</u>	2.93 lb (1340.78 gr)
Morocho	3 lb (1360.78 gr)	Molienda gruesa	300 <u>seg.</u>	2.96 lb (1345.78 gr)
		Molienda media	450 <u>seg.</u>	2.94 lb (1335.78 gr)

Comparación en los tiempos aplicados

Materia prima	Cantidad de producto	Contextura del producto	Tiempo aplicado	
			Operación Manual	Operación Automatizada
Maíz	3 lb (1360.78 gr)	Molienda media	345 <u>seg.</u>	240 <u>seg.</u>
		Molienda fina	480 <u>seg.</u>	390 <u>seg.</u>
Morocho	3 lb (1360.78 gr)	Molienda gruesa	540 <u>seg.</u>	300 <u>seg.</u>
		Molienda media	630 <u>seg.</u>	450 <u>seg.</u>



Tiempo Aplicado



Uno de los casos más significativos es con el producto de morocho – molienda gruesa.

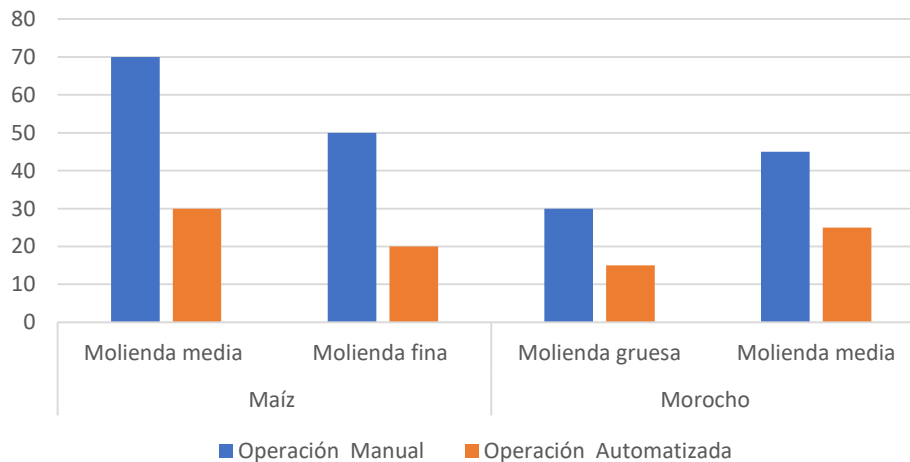


Perdida de producto en el proceso

Materia prima	Cantidad de producto	Perdida de producto en el proceso		
		Contextura del producto	Operación Manual	Operación Automatizada
Maíz	3 lb (1360.78 gr)	Molienda media	70 gr por libra	30 gr por libra
		Molienda fina	50 gr por libra	20 gr por libra
Morocho	3 lb (1360.78 gr)	Molienda gruesa	30 gr por libra	15 gr por libra
		Molienda media	45 gr por libra	25 gr por libra

Uno de los casos mas significativos es con el producto de maíz – molienda media.

Perdida de producto en el proceso (gr)



Conclusiones

Tras la revisión de estado de arte la gran variedad de elementos que pueden ser utilizados para la automatización del sistema de molienda como los identificados en la tesis de Toapanta N. e igualmente las diferentes formas de automatización del proceso encontradas en la tesis de Trujillo L. se logró en este caso automatizar la molienda mediante el uso del sistema semiautomático por medio del uso de contactores y temporizadores para controlar el proceso y mediante uso de pulsadores e indicadores para dar las señales de mando.

Para la automatización del proceso de molienda de forma manual y semiautomática se utilizó un motor monofásico de 1725 RPM el cual mediante el uso de un sistema de transmisión por bandas provee el torque necesario para que funcione proceso de molienda que se controla a través del panel ubicado en el gabinete eléctrico de la maquina mismo facilitando así el uso del operario, además se realizó el análisis mecánico de los elementos mediante el uso de SolidWorks para su validación mecánica determinando la resistencia a la torsión y fluencia del eje.

La automatización de proceso requirió además de una modificación en la estructura del molino el desarrollo de un circuito de control en el cual se empleó contactores, temporizador ON DELAY, relé térmico de protección para el motor, pulsadores para dar las señales de comando de los diferentes procesos e indicadores para poder visualizar el estado de la maquina además de un botón de paro de emergencia para brindar una seguridad adecuada al operario.

A través del desarrollo de las pruebas de funcionamiento se determinó que el tiempo de procesado para la molienda manual de granos de 3 lb de maíz de molienda media es de 345 segundos y para una molienda fina de 480, mientras que para la molienda gruesa de morocho de 3 lb es de 540 segundos y para la molienda media de 630 segundos mientras que para el proceso de molienda automatizado es de 240 segundos para la molienda media de maíz y de 390 para la molienda fina de maíz, mientras que para la molienda gruesa de morocho es de 300 segundos y para la molienda media de 450 segundos, así mismo la cantidad de grano molido perdido por libras se redujo por el proceso automatizado además de haber un cambio fue en el consumo de la máquina puesto que esta consume más al realizarse un trabajo de molienda manual.



Recomendaciones

En el mantenimiento de la maquina se sugiere por lo menos una vez al año realizar una limpieza y revisión del sistema transmisión, además de dar una limpieza cada seis meses al panel del control y revisar el estado de sus elementos

Para la elaboración del circuito de control se recomienda primero realizar una simulación de las conexiones a usarse en la automatización como en este caso se usó cade-simu para luego posteriormente verificar su funcionamiento en cableado del circuito de control.

Antes de que el operario use la maquina se le debe explicar el funcionamiento de la misma, así como el uso de los diferentes usos de los pulsadores he indicadores del panel de control.

Cuando se realiza las pruebas de funcionamiento se debe verificar que todos los elementos de la maquinaria queden completamente asegurados y fijados en su lugar para poder garantizar el correcto funcionamiento de esta.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA