



DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL, PARA UNA MÁQUINA ENSACADORA-

PESADORA SEMIAUTOMÁTICA DE CACAO

DESIGN OF THE CONTROL SYSTEM FOR A SEMI-AUTOMATIC COCOA

BAGGING-WEIGHING MACHINE

PROJETO DO SISTEMA DE CONTROLE PARA UMA MÁQUINA ENSAQUE-

PESADORA SEMI-AUTOMÁTICA DE CACAU

Resumen

El presente estudio se realizó con el propósito de diseñar un sistema de control automatizado para una máquina de ensacado y pesado de cacao, orientado a mejorar la precisión y eficiencia del proceso en la industria cacaotera ecuatoriana. La investigación abordó la falta de automatización en el sector, que limita la competitividad en el mercado global. Se emplearon controladores lógicos programables (PLCs) y una interfaz hombre-máquina (HMI) como herramientas principales, implementadas mediante el software TIA Portal de Siemens. Los resultados mostraron una mejora significativa en la precisión de la dosificación y la reducción en los tiempos de ciclo, incrementando la productividad y minimizando los desperdicios de cacao. Las conclusiones destacan que este sistema automatizado no solo mejora la ejecución del proceso, sino que también permite incrementar la seguridad laboral y reducir costos operativos, recomendando su integración en la agroindustria como una estrategia de modernización eficaz y sostenible.

Palabras clave: Automatización industrial, control de procesos, dosificación precisa, industria agroalimentaria, productividad.

Ing. David Atiencia Fuentes
david.atiencia@ute.edu.ec

Universidad UTE,
Orcid: [0009-0005-3468-3959](https://orcid.org/0009-0005-3468-3959)

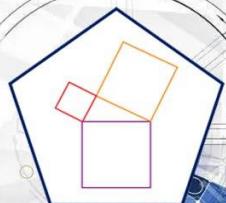
Ing. Edison Andrés Uriarte Cárdenas
perezj@gmail.com

Universidad UTE
Orcid: [0009-0007-9611-1678](https://orcid.org/0009-0007-9611-1678)

PhD. Alexis Cordovés García
alexis.cordoves@ute.edu.ec

Universidad UTE
Orcid: [0000-0002-4431-1340](https://orcid.org/0000-0002-4431-1340)

REVISTA TSE'DE
Instituto Superior Tecnológico
Tsa'chila
ISSN: 2600-5557



Abstract

The present study was carried out with the purpose of designing an automated control system for a cocoa bagging and weighing machine, aimed at improving the precision and efficiency of the process in the Ecuadorian cocoa industry. The research addressed the lack of automation in the sector, which limits competitiveness in the global market. Programmable logic controllers (PLCs) and a human-machine interface (HMI) were used as the main tools, implemented using Siemens TIA Portal software. The results showed a significant improvement in dosing precision and reduction in cycle times, increasing productivity and minimizing cocoa waste. The conclusions highlight that this automated system not only improves process execution, but also allows for increased labor safety and reduced operating costs, recommending its integration into the agroindustry as an effective and sustainable modernization strategy.

Keywords: Industrial automation, process control, precise dosing, agri-food industry, productivity

Resumo

O presente estudo foi realizado com o objetivo de projetar um sistema de controle automatizado para uma máquina de ensacamento e pesagem de cacau, visando melhorar a precisão e a eficiência do processo na indústria cacauícola equatoriana. A pesquisa abordou a falta de automação no setor, o que limita a competitividade no mercado global. Controladores lógicos programáveis (CLPs) e uma interface homem-máquina (IHM) foram utilizados como ferramentas principais, implementadas através do software TIA Portal da Siemens. Os resultados mostraram uma melhoria significativa na precisão da dosagem e redução nos tempos de ciclo, aumentando a produtividade e minimizando o desperdício de cacau. As conclusões destacam que este sistema automatizado não só melhora a execução do processo, mas também permite aumentar a segurança ocupacional e reduzir custos operacionais, recomendando a sua integração no agronegócio como uma estratégia de modernização eficaz e sustentável.

Palavras-chave: Automação industrial, controle de processos, dosagem precisa, indústria agroalimentar, produtividade

Periodidad Semestral
Vol. 7, núm. 2
revistatsede@tsachila.edu.ec

Recepción: 15-11-2024
Aprobación: 10-12-2024
Publicación: 25-12-2024

URL:
<http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/issue/archive>

Revista Tse'de, Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



Introducción

En Ecuador, la industria de exportación de cacao enfrenta un importante reto en términos de modernización tecnológica, especialmente en la mejora de sus procesos productivos. Las empresas, en su mayoría, carecen de sistemas automatizados, limitando su capacidad de respuesta ante la demanda global, afectando la competitividad del sector (Borja, 2021; Shabanov, 2021). La incorporación de tecnologías de automatización se considera esencial para disminuir los tiempos de producción y reducir errores manuales en procesos claves (Pereira, 2024), como en el secado de cacao (Ying et al., 2021; Corrales et al., 2023). Esta necesidad está presente igualmente para el proceso de clasificación y pesado de cacao (Rodríguez et al., 2024).

Actualmente, la automatización es vista como una solución estratégica para mejorar la eficiencia productiva (Daum y Birner, 2020). El uso de controladores lógicos programables (PLCs) permite reducir los errores humanos y mejorar el control en cada etapa del proceso productivo (White, 2023). Los sistemas PLC y HMI (Human-Machine Interface) son herramientas de automatización capaces de transformar los métodos de producción, incrementando tanto la velocidad como la calidad del producto final (Wilmot y Raithel, 2020).

La implementación de un sistema de control automatizado para el ensacado en la industria cacaotera ecuatoriana promete resolver desafíos críticos, como la precisión en el peso de los sacos, la reducción del tiempo de producción y la mejora en la seguridad del proceso. Estas tecnologías permiten un ajuste preciso de los sacos de

cacao según las regulaciones nacionales, mejorando la competitividad en mercados de exportación (Siemens, 2023; Pro Ecuador, 2021).

El PLC SIMATIC S7-1200, en conjunto con el software TIA Portal de Siemens, es una solución adaptable que permite el monitoreo en tiempo real y la integración de dispositivos, ofreciendo una interfaz intuitiva que minimiza la intervención del operador (Collins, 2014; Siemens, 2023). Al incorporar sensores capacitivos y celdas de carga (Tecnología para la Industria, 2023), el sistema garantiza una dosificación exacta del cacao, mejorando la precisión y reduciendo desperdicios.

Con la Industria 4.0, tecnologías como el Internet de las cosas (IoT) facilitan la interconexión y supervisión en tiempo real (Krishnan y Swarna, 2020; Santos y Kienzle, 2020; Friha et al., 2021; Gyamfi et al., 2024), aspectos críticos para la eficiencia del ensacado y pesado del cacao. Estas tecnologías también permiten la recopilación de datos para ajustes continuos y respuestas a fluctuaciones en la demanda (Deloitte, 2023), así como, el acercamiento a la Industria 5.0 (Demircioglu et al., 2024).

Uno de los mayores desafíos en la automatización de la industria cacaotera es la inversión inicial en tecnología y capacitación, pero el retorno es significativo debido a las mejoras en eficiencia y seguridad, reduciendo los riesgos de tareas manuales repetitivas (Afoakwa, 2014). Así, la automatización provee uniformidad y capacidad de respuesta ante variaciones en la demanda.

La implementación de una HMI facilita la interacción operador-proceso, brindando acceso directo a datos para monitorear y ajustar el rendimiento (Arce et al., 2024). Este enfoque asegura eficiencia en el proceso de producción y un estándar constante de calidad.

Este estudio tiene como propósito diseñar y validar un sistema de control que mejore el proceso de ensacado y pesado actual, facilitando la operación mediante una interfaz intuitiva y segura. La implementación de esta tecnología busca mejorar la productividad, precisión y competitividad del sector, adaptándose a las exigencias del mercado actual.

Metodología

El proceso productivo de ensacado y pesado del cacao comprende desde la salida del producto de la sección de secado, hasta la entrega del producto ensacado, el que abarca las tres etapas siguientes (Figura 1):

1. Traslado de los granos de cacao desde la secadora hasta la tolva de recepción.
2. Dosificación de cacao durante su deposición en sacos.
3. Sellado y traslado de los sacos llenos del producto

Figura 1

Esquema del proceso productivo de ensacado y pesado



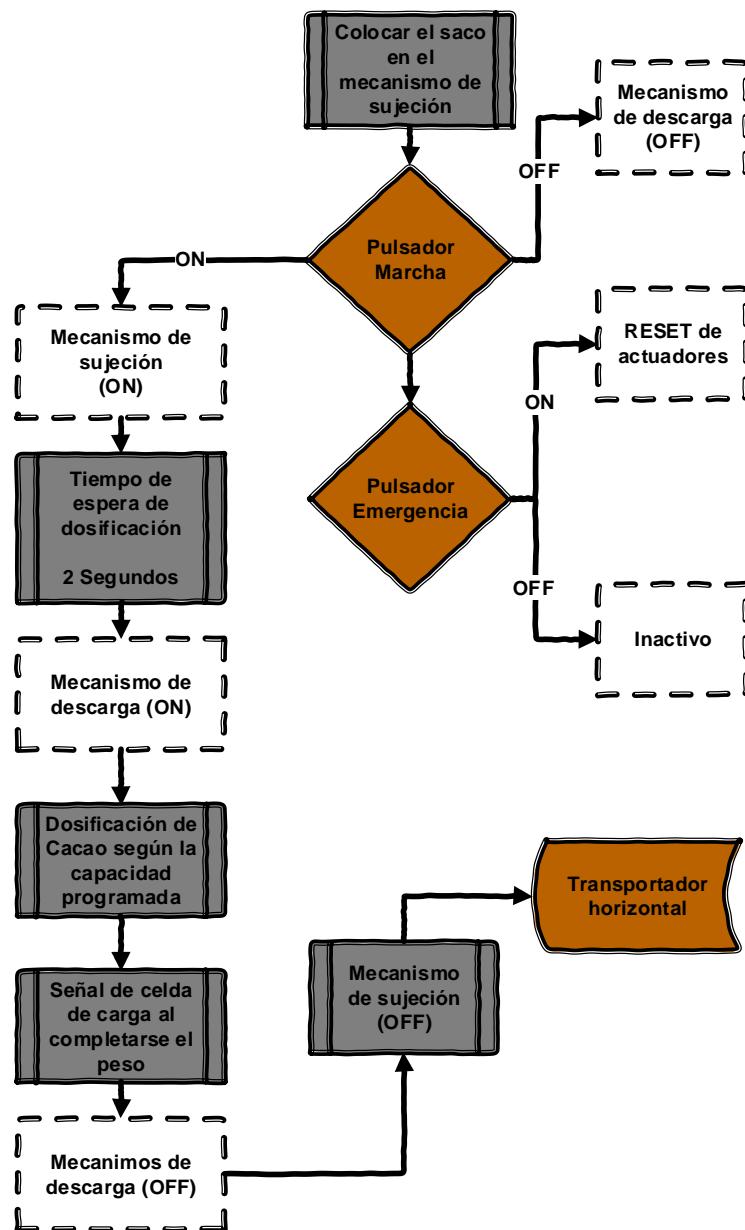
Con la finalidad de simplificar el análisis de dicho proceso. El presente artículo se centra en la etapa de Control de la dosificación de cacao (Etapa 2), por ser la que mayor influencia ejerce en la eficiencia general del proceso.

1 DOSIFICACIÓN DE CACAO

La dosificación de cacao se ajusta dinámicamente según la capacidad del saco, regulada por el Instituto de Exportaciones e Inversiones Pro Ecuador, con opciones de 64 y 69 kg para exportación. La programación del proceso de dosificación se detalla en el flujograma de la Figura 2.

Figura 2

Flujograma de dosificación de cacao



El mecanismo de ensacado y pesado incluye dos sujetadores en los extremos de la tolva. El operario coloca el saco, activa el pulsador de marcha, y los cilindros de doble efecto comprimen el saco en la base del mecanismo. Tras un intervalo de seguridad de dos segundos, se abre la compuerta de descarga para dosificar el cacao. Al alcanzar el peso programado, las celdas de carga cierran la compuerta y liberan el saco, que cae sobre el transportador para continuar con el traslado y sellado.

El mecanismo de ensacado y pesado incluye dos sujetadores en los extremos de la tolva. El operario coloca el saco, activa el pulsador de marcha, y los cilindros de doble efecto comprimen el saco en la base del mecanismo. Tras un intervalo de seguridad de dos segundos, se abre la compuerta de descarga para dosificar el cacao. Al alcanzar el peso programado, las celdas de carga cierran la compuerta y liberan el saco, que cae sobre el transportador para continuar con el traslado y sellado.

1.1 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

El sector industrial de tecnología en Siemens ha evolucionado rápidamente, logrando mayor rentabilidad mediante procesos simplificados que integran control, visualización y accionamiento. El Software TIA Portal V14 de Siemens permite una interacción eficiente con los dispositivos de automatización SIMATIC S7-1200 y el HMI SIMATIC Basic Panel, aunque requiere asignar variables de entrada y salida en el PLC y marcas según el diseño del sistema de control.

- Variables de entrada digital**

Para la máquina ensacadora-pesadora de cacao, se establecieron como variables de entrada digital: un sensor capacitivo (S1) para detectar el nivel alto y otro (S2) para el nivel bajo de cacao en la tolva, un pulsador de marcha (P1), un pulsador de

emergencia (P2), un pulsador de pedal (P3) para mover el saco por la banda horizontal y un pulsador de descarga (P4) para vaciar la tolva. Cada variable fue asignada a una dirección en TIA Portal V14, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Variables de entrada digital

NOMBRE	TIPO DE DATO	DIRECCIÓN
Sensor capacitivo 1	Bool	%I0.0
Sensor capacitivo 2	Bool	%I0.1
Pulsador de marcha	Bool	%I0.2
Pulsador de emergencia	Bool	%I0.3
Pedal	Bool	%I0.4
Pulsador de descarga	Bool	%I0.5

Variables de entrada analógica

Como entrada analógica, se asignó una dirección para cada celda de carga de viga en "S" (CC1 – CC2) quienes determinarán el peso del saco de cacao, en una configuración personalizada de 65,19 kg (Tabla 2).

Tabla 2

Variables de entrada analógica

NOMBRE	TIPO DE DATO	DIRECCIÓN
Celda de carga 1	Int	%IW.64
Celda de carga 2	Int	%IW.66

Variables de salidas digitales

Para la máquina ensacadora-pesadora de cacao, se definieron salidas digitales: un contactor (KM1) para la banda inclinada, otro (KM2) para la horizontal, dos electroválvulas (EV1-EV2) para los cilindros de sujeción del saco y una (EV3) para el cilindro de descarga de la tolva. Dos luces verdes (H1-H2) indican el estado de las bandas y dos rojas (H3-H4) alertan si se supera la corriente nominal. Además, una

sirena (SR1) alerta cuando la tolva requiere cacao. Cada variable tiene una dirección asignada en TIA Portal V14, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Variables de salida digital

NOMBRE	TIPO DE DATO	DIRECCIÓN
Electroválvula de apertura	Bool	%Q0.2
Electroválvula mordaza 1	Bool	%Q0.3
Electroválvula mordaza 2	Bool	%Q0.4
Sirena	Bool	%Q1.2

Marcas

Se asignaron marcas para visualizar el peso en la pantalla HMI, incluyendo el pulsador de marcha (P1), el de emergencia (P2), una marca de máquina activada, una para el pedal de la banda horizontal, y otras para el control de peso de la tolva. Estas marcas también tienen direcciones en TIA Portal, detalladas en la Tabla 4.

Tabla 4

Marcas

NOMBRE	TIPO DE DATO	DIRECCIÓN
Peso de celda 1	Real	%MD.0
Peso de celda 2	Real	%MD.4
Marcha HMI	Bool	%M9.0
Parada HMI	Bool	%M9.1
Máquina activada	Bool	%M8.0
Pedal 1	Bool	%M8.1

1.1.1 Bloque de programación de dosificación de cacao

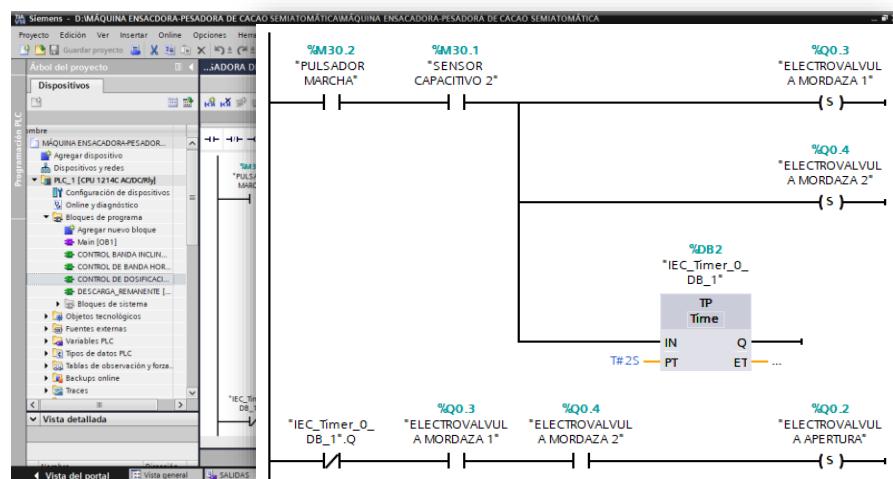
El bloque de programación “DOSIFICACIÓN DE CACAO” abre la compuerta de descarga de la tolva. Se programó un pulsador de marcha (%M30.2) para activar las

electroválvulas (%Q0.3-%Q0.4) que sujetan el saco durante el llenado, siempre que el sensor capacitivo de nivel bajo (%M30.1) detecte cacao en la tolva.

Para asegurar la sujeción, un temporizador de pulsos “IEC_Timer_0_DB_1” permite la apertura de la electroválvula (%Q0.2) después de 2 segundos. Antes de activar esta válvula, se cierran los contactos de las electroválvulas de sujeción (%Q0.3-%Q0.4) para evitar fugas de cacao debido a fallos eléctricos (Figura 3).

Figura 3

Dosificación de cacao



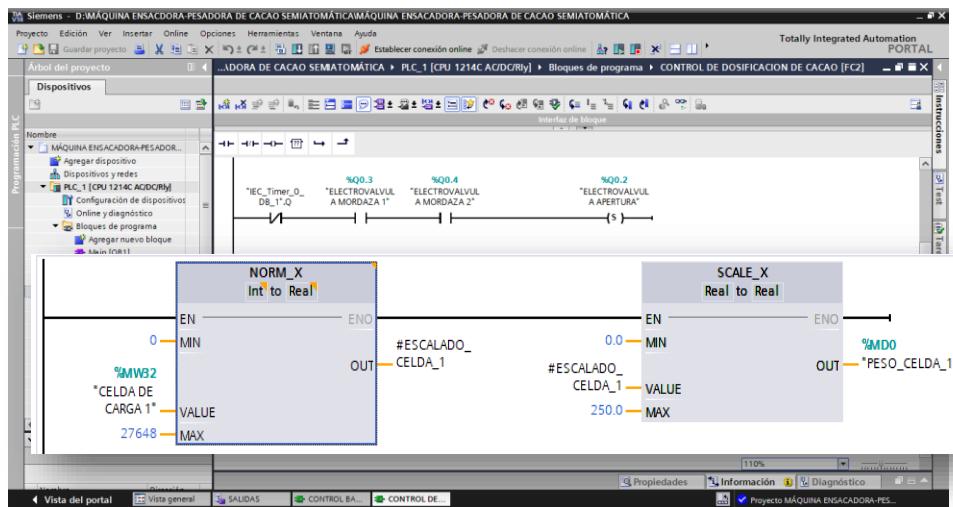
En el bloque “Dosificación de cacao”, se debe escalar la celda de carga 1. Para ello, en las “Instrucciones básicas” se selecciona “Conversión” y luego se arrastran las funciones “NORM_X” y “SCALE_X”. “NORM_X” define los límites del rango de valores de la celda de carga, mientras que “SCALE_X” convierte estos valores a un número entero en la salida. Para configurar “NORM_X” fue necesario conocer el rango de la entrada analógica de la celda de carga.

Se utilizó el tipo de dato “Int” a “Real” en “NORM_X” para convertir el valor analógico a un valor real, y en “SCALE_X” se utilizó “Real” a “Real” para escalar la señal

analógica con precisión. Estos datos se ingresan en el software como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Escalado de celda de carga 1



Por otra parte, en “OUT” del “NORM_X” se creó una variable “#ESCALADO_DE_CELDA_1”, únicamente para este bloque de programación, con el objetivo de vincular el normalizado con el escalado (Figura 5).

Figura 5

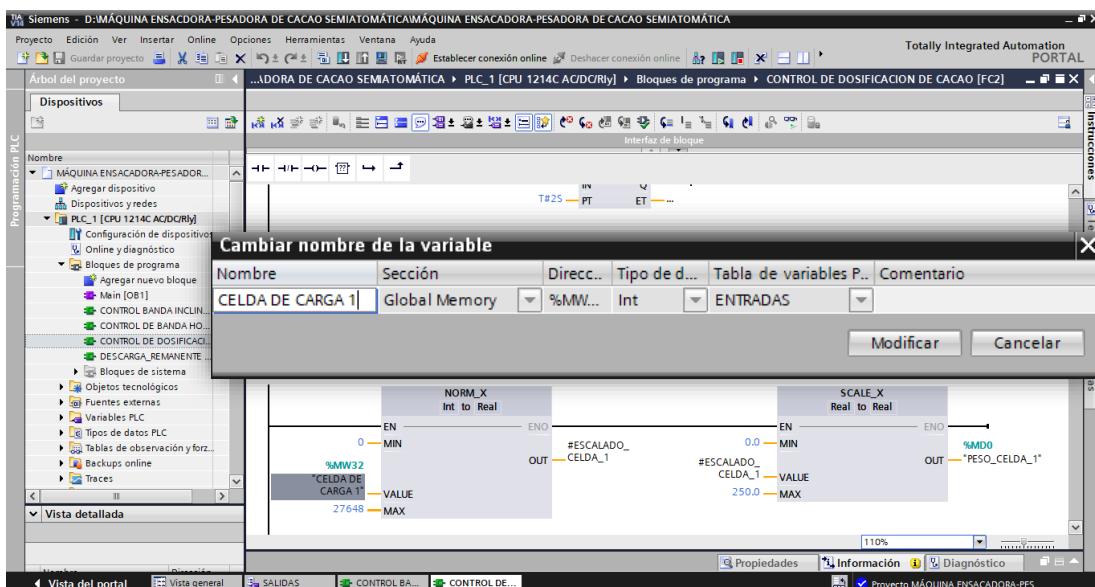
Salida real del normalizado

CONTROL DE DOSIFICACION DE CACAO				
	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
1	Input			
2	<Agregar>			
3	Output			
4	<Agregar>			
5	InOut			
6	<Agregar>			
7	Temp			
8	ESCALADO_CELDA_1	Real		
9	ESCALADO_CELDA_2	Real		
10	Constant			
11	<Agregar>			
12	Return			
13	CONTROL DE DOSIFICAC...	Void		

Mientras que en “OUT” de “SCALE_X” se utilizó una marca de tipo “Global Memory” denominada “PESO_CELDA_1”, a fin de, monitorear el incremento de peso, como se puede apreciar en la Figura 6.

Figura 6

Salida real del escalado



Para la programación del escalado de la celda de carga 2 se realizó el mismo procedimiento que se realizó en la celda de carga 1.

Para determinar, el comportamiento de las electroválvulas al recibir la señal de cada una de las celdas de carga fue necesario considerar los aspectos siguientes:

- **Tiempo de apertura y cierre del mecanismo de sujeción del saco**

El tiempo de apertura y cierre del mecanismo de sujeción del saco se calcula con una velocidad de vástago regulada a 0,25 m/s, según Creus, Antonio (2007), quien indica que las velocidades de cilindros neumáticos pueden variar entre 0,1 y 1,5 m/s. Esta

velocidad se considera constante para calcular el tiempo de cierre del mecanismo de sujeción y de la compuerta de descarga de cacao.

La velocidad del cilindro neumático se relaciona con la distancia de recorrido del vástago, que según el catálogo de ADMITEC es de 50 mm. El tiempo de apertura y cierre se determina con esta distancia y la velocidad a través de la ecuación 2.

$$t = \frac{d}{v} = \frac{0.05 \text{ m}}{0,25 \text{ m/s}} = 0,2 \text{ s}$$

- **Tiempo de cierre de la compuerta de descarga**

Para el mecanismo de cierre de la compuerta de descarga, se determinó que la distancia de recorrido del vástago será de 125 mm, valor que se encuentra dentro de la línea de productos ADMITEC. Por lo tanto, para determinar el tiempo de cierre se relaciona con la velocidad del cilindro neumático, a partir de la ecuación 2:

$$t = \frac{d}{v} = \frac{0.125 \text{ m}}{0,25 \text{ m/s}} = 0,5 \text{ s}$$

- **Tiempo de sellado del saco**

Se lo determinó, a razón de mediciones experimentales del proceso de sellado del saco de cacao para la exportación. El resultado del tiempo del ciclo de sellado fue de 3 segundos, propiciados al emplear una máquina de coser portátil de alta velocidad modelo NP-7A. Cuyo resultado experimental, no será considerado en la cadencia de producción. Puesto que se consideró, como un tiempo sobrepuerto.

- **Cantidad requerida por la celda de carga**

Para cumplir con los 69 kg exigidos por el Instituto de Exportaciones e Inversiones Pro Ecuador, es necesario calcular la dosificación de cacao mediante la celda de carga.

La programación debe relacionar el flujo másico con el tiempo de apertura y cierre del mecanismo de descarga.

Se define el peso que debe registrar la celda de carga al iniciar el cierre de la compuerta. Durante el cierre progresivo, continuará saliendo cacao hasta su cierre definitivo, ello asegura que finalmente se alcance el peso de 69 kg

Flujo másico de descarga: $\dot{m}_{Descarga} = 26,85 \text{ lb/s}$

Tiempo de cierre del mecanismo: $t_c = 0,5 \text{ s}$

Para precisar la cantidad de cacao que emerge del mecanismo de descarga al cerrarse la compuerta, se fracciona en cuatro partes iguales al tiempo de cierre, como también al flujo másico. Por lo tanto, queda de la manera siguiente:

$$\dot{m}_{Descarga} = \frac{26,85 \text{ lb/s}}{4} = 6,72 \text{ lb/s}$$

$$t_c = \frac{0,5 \text{ s}}{4} = 0.125 \text{ s}$$

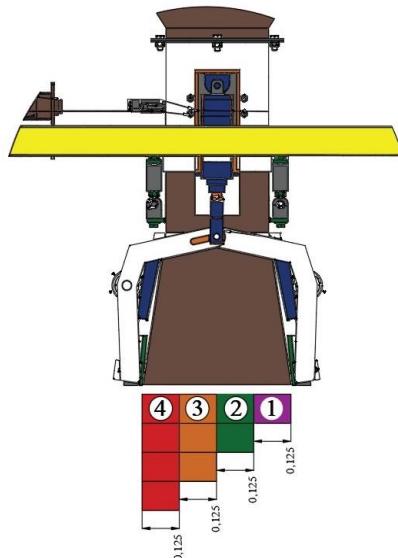
El producto de los resultados obtenidos permitirá encontrar la cantidad de descarga de cacao en 0,125 segundos de cierre de la compuerta.

$$\text{Cantidad Descargada} = 6,72 \text{ lb/s} * 0,125 \text{ s} = 0,84 \text{ lb}$$

Para hallar la cantidad de cacao dosificada en el saco, se consideró que cada 0,125 segundos caerán 0,84 lb gradualmente. Es decir que, la cantidad de granos de cacao se reducirá conforme se cierre la compuerta de descarga de la tolva, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Mecanismo de descarga de cacao



Bajo el análisis planteado en la Figura 8, se determina la cantidad de cacao que dosificará el mecanismo de descarga en los 0,5 segundos de cierre de la compuesta:

$$\text{Primer intervalo} \quad 0,84 \text{ lb} * 4 = 3,36 \text{ lb}$$

$$\text{Segundo intervalo} \quad 0,84 \text{ lb} * 3 = 2,52 \text{ lb}$$

$$\text{Tercer intervalo} \quad 0,84 \text{ lb} * 2 = 1,68 \text{ lb}$$

$$\text{Cuarto intervalo} \quad 0,84 \text{ lb} * 1 = 0,84 \text{ lb}$$

El resultado obtenido, después de, la sumatoria de cada uno de los intervalos de dosificación de cacao, fue de 8,4 libras al momento de cerrar la compuerta de descarga.

Al reemplazar los datos se encuentra la cantidad de cacao excedida:

$$8,4 \text{ lb} * \frac{0,453592 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} = 3,81 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la cantidad de cacao a dosificar en la programación se determina de la siguiente manera:

$$\text{Cantidad Programada} = 69 \text{ kg} - 3,81 \text{ kg} = 65,19 \text{ kg}$$

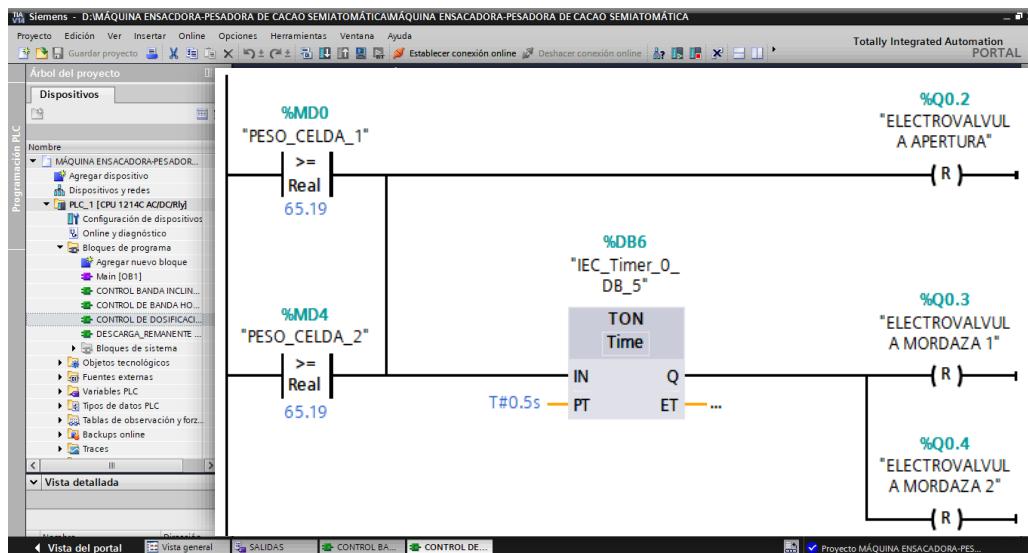
Para asegurar los 69 kg, se fija un peso de 65,19 kg por celda de carga, añadiendo los 3,81 kg restantes al cerrar la compuerta. Las celdas PESO_CELDA_1 (%MDO) y PESO_CELDA_2 (%MD4) registran hasta 65,19 kg, activando la electroválvula (%Q0.2) para cerrar la tolva. Después de 0,5 segundos, un temporizador desactiva las electroválvulas de las mordazas (%Q0.3 - %Q0.4) (Figura 8).

Se conoce que el mecanismo dosifica los 69 kg en 6,03 segundos, incluyendo el recorrido y velocidad del cilindro de doble efecto para apertura y cierre de la compuerta. Para los 65,19 kg, el tiempo es de 5,70 segundos.

Por criterio de diseño se determinó un límite máximo de 5,3 sacos de cacao en la tolva, colocando el sensor de nivel alto en el quinto nivel y el de nivel bajo en el tercero, evitando tiempos muertos por falta de cacao si el sensor estuviera más bajo.

Figura 8

Comparación de peso de celdas de carga



- **Cadencia de producción**

Cada una de las etapas por las que atraviesa el cacao previo a ser ensacado y pesado, ocupa un tiempo en la cadena de producción. A este tiempo se lo conoce como cadencia de producción, y es calculado en función de los tiempos empleados, desde el momento en que se ubica al saco hasta la entrega del producto terminado, para ello se aplica la ecuación 3:

$$C_p = (0,2 + 2 + 5,70 + 0,2 + 6,5)s = 14,60 s$$

Además, se consideró necesario la velocidad de ejecución que dispone el PLC S7-1200 1214C al ejecutar algún tipo de instrucción emitida por un elemento actuador. Para Siemens, S7-1200 (2012), la velocidad de ejecución del autómata se muestra a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5

Actuación

TIPO DE INSTRUCCIÓN	VELOCIDAD DE EJECUCIÓN
Boleano	0,08 µs/instrucción
Mover palabra	1,7 µs/instrucción
Matemático real	2,3 µs/instrucción

(SIEMENS, PLC S7-1200, 2009)

Entonces, al aplicar la ecuación 3 se tiene:

$$C_p = (0,08 + 0,08 + 2,3 + 0,08 + 0,08)\mu s/instrucción = 2,62 \mu s/instrucción$$

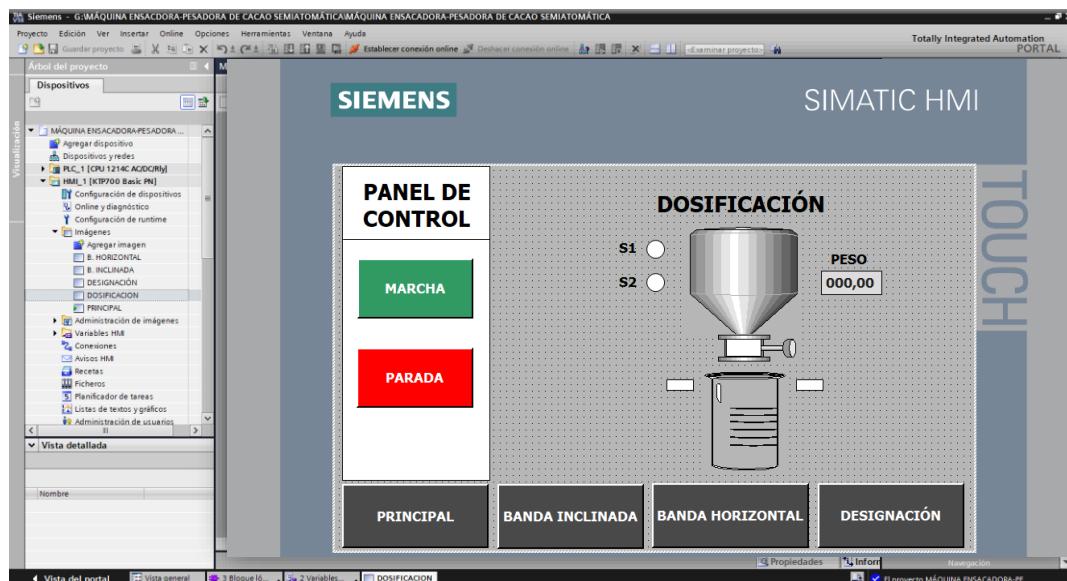
Al ser un tiempo de instrucción relativamente bajo, considerando que en la dosificación de cacao en el saco no modificará el peso establecido por el Instituto de Exportaciones e Inversiones Pro Ecuador. De tal forma que, se lo despreciará en el resultado de tiempo de producción de la máquina ensacadora-pesadora de cacao.

1.1.2 Programación del HMI KTP700 Basic PN

En la ventana de imagen de dosificación (Figura 9), se representa gráficamente la tolva y el mecanismo de descarga usando gráficos de WinCC, manteniendo el mismo panel de control digital de las ventanas previas. Esta pantalla incluye indicadores LED para los sensores capacitivos, un indicador digital del peso y tres LED para las electroválvulas, que se activan según el diseño de la máquina.

Figura 9

Diseño de dosificación



Resultados y Discusión

1. Precisión y Eficiencia en Dosificación de cacao

La implementación del sistema automatizado de ensacado y pesado, usando el PLC SIMATIC S7-1200 y HMI KTP700, alcanzó un margen de error en el peso de los sacos menor al 1%, superando al método manual. El tiempo promedio de dosificación en sistemas manuales de la localidad es de 4,12 minutos; el sistema

automatizado permite llenar cuatro sacos de cacao por minuto, incrementando notablemente la eficiencia. Estos resultados coinciden con estudios previos que resaltan la precisión y reducción de tiempo en sistemas automatizados en la industria agroalimentaria.

2. Impacto en la Cadencia de Producción

La automatización mejoró la cadencia de producción eliminando tiempos muertos y regulando el flujo de cacao con celdas de carga, permitiendo un flujo continuo (Figura 1). Este avance posiciona a la industria cacaotera ecuatoriana de forma competitiva a nivel global, respaldado por Pro Ecuador (2022) y Siemens (2023), quienes destacan la automatización como esencial para cumplir estándares internacionales.

3. Reducción de Costos Operativos

El sistema automatizado permitió reducir costos asociados a errores humanos y pérdidas de material. Si bien la inversión inicial en tecnología y capacitación puede ser un desafío, estudios indican que el retorno de inversión a largo plazo justifica estos gastos, especialmente en la industria alimentaria.

4. Mejoras en Seguridad, Ambiente de Trabajo y Sostenibilidad

El sistema contribuye a reducir la manipulación de cargas, lo que disminuye el riesgo a lesiones y mejora la seguridad laboral. La interfaz del HMI facilita la operación y eleva la productividad. La reducción de desperdicios contribuye a la sostenibilidad ambiental, optimizando recursos y reduciendo el impacto ambiental.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la implementación de un sistema de control automatizado para el proceso de ensacado y pesado de cacao mejora significativamente la precisión en la dosificación y optimiza la eficiencia operativa, contribuyendo a la competitividad de la industria cacaotera ecuatoriana en el mercado global. La tecnología utilizada, basada en PLC y HMI, no solo reduce los errores y el desperdicio de material, sino que también mejora la seguridad en el lugar de trabajo al minimizar la intervención manual. Estos hallazgos sugieren que la automatización es una estrategia viable para la industria agroalimentaria que, además de mejorar la productividad, permite alcanzar estándares de calidad más estrictos exigidos en los mercados de exportación. Se recomienda realizar futuras investigaciones enfocadas en la integración de tecnologías avanzadas como el Internet de las cosas (IoT) y el análisis de datos en tiempo real para mejorar aún más la adaptabilidad y el control de procesos. Los beneficios de estos resultados incluyen no solo una mayor precisión y eficiencia, sino también la posibilidad de un modelo productivo más sostenible y seguro que puede ser replicable en otros sectores de la agroindustria.

Referencias bibliográficas

- Afoakwa, E. O. (2014).Cocoa production and processing technology. CRC Press
- Arce, D., Nolasco, L. , Martínez, A., Avalos, P., Quispe, H. y Hercilla N. (2024). Industrial process optimization through advanced HMI systems: exploring the

integration of IoT and AI. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 36(2) pp. 817-825 DOI: 10.11591/ijeecs.v36.i2.pp817-825

Borja, K. (2021). *Análisis de las exportaciones del cacao ecuatoriano en grano en el período 2008 - 2018* (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Machala, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador. Recuperado de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16599>

Collins, K. (2014). DRAFT PLC Programming for Industrial Automation.

Corrales, B., Jaya, L., Vaca, J. and Zambrano, X. (2023). Control System for a Cacao Drying Process: Case Study Cylindrical Dryer. In *International Conference on Science, Technology and Innovation for Society* (pp. 71-80). Cham: Springer Nature Switzerland.

Daum, T. and Birner, R. (2020). Agricultural mechanization in Africa: Myths, realities and an emerging research agenda. *Global food security*, 26, 100393. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100393>

Deloitte. (2023). *Industry 4.0: The Fourth Industrial Revolution – Guide to Digital Transformation*. Deloitte. Recuperado de <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0.html>

Demircioglu, P., Bogrekci, I., Durakbasa, M. and Bauer, J. (2024). Autonomation, Automation, AI, and Industry-Agriculture 5.0 in Sustainable Agro-Ecological Food Production. In: Durakbasa, N.M., Gençyilmaz, M.G. (eds) *Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era*. ISPR 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53991-6_42

- Gyamfi, E., ElSayed, Z., Kropczynski, J., Yakubu, M. and Elsayed, N. (2024). Agricultural 4.0 Leveraging on Technological Solutions: Study for Smart Farming Sector. *arXiv preprint arXiv:2401.00814*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.00814>
- Krishnan, S. and Swarna, B. (2020). "Robotics, IoT, and AI in the Automation of Agricultural Industry: A Review" *IEEE Bangalore Humanitarian Technology Conference (B-HTC)*, Vijiapur, India, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/B-HTC50970.2020.9297856
- Friha, O., Amine, M., Shu, L., Maglaras, L. and Wang, X. (2021). Internet of Things for the Future of Smart Agriculture: A Comprehensive Survey of Emerging Technologies, *IEEE/CAA J. Autom. Sinica*, vol. 8, no. 4, pp. 718-752, Apr. 2021. doi: 10.1109/JAS.2021.1003925
- Pereira, L. (2024). Analyzing the Impact of Technological Innovations on Smallholder Farmers Within Ivory Coast's Cocoa Supply Chain. *Law and Economy*, 3(3), 1-11. doi:10.56397/LE.2024.03.01
- PRO ECUADOR. (2021). Pro Ecuador. (2022). Cocoa Export Standards and Regulations.
- Rodríguez, L., Jiménez, A. and Beltrán, O. (2024). Computer vision system for categorizing and weighing loads of cocoa production in the Ariari region. *Visión electrónica*, 18(2).
- Santos, S. and Kienzle, J. (2020). Agriculture 4.0—agricultural robotics and automated equipment for sustainable crop production.

Siemens. (2023). *SIMATIC STEP 7 (TIA Portal) V16: Configuración y programación de controladores SIMATIC S7-1200.* Recuperado de

<https://www.siemens.com/global/es/productos/automatizacion/industry-software/automation-software/tia-portal/software/step7-tia-portal.html>

Tecnología para la Industria. (2023). Sistemas HMI de Control y Monitoreo de Procesos para operadores y técnicos. Recuperado de:

<https://tecnologiaparalaindustria.com/sistemas-hmi-de-control-y-monitoreo-de-procesos-para-operadores-y-tecnicos/>

Shabanov, V., Vasilchenko, M., Derunova, E. and Potapov, A. (2021). Formation of an Export-Oriented Agricultural Economy and Regional Open Innovations. *Innov. Technol. Mark. Complex.* 2021, 7(1), 32; <https://doi.org/10.3390/jotmc7010032>

White, M. (2023). *Mastering PLC Programming: The software engineering survival guide to automation programming.* Packt Publishing Ltd.

Wilmot, J. and Raithel, B. (2020). Automation controllers, edge. *Control Engineering*, Volume 67, Issue 5, Pages 31, ISSN 00108049

Ying, T., Sadun, A., Nordin, I., Hashim, H. and Khamis, N. (2021). Development of Automated Cocoa Beans Drying Rack. *Journal of Design for Sustainable and Environment*, 3(1).