

# Sistema automatizado de dosificación volumétrica y mezclado para el proceso de fabricación de blocks implementado en un módulo LOGO

## Automated volumetric dosing and mixing system for the block making process implemented in a LOGO module

E. Rubio-Carpio <sup>a</sup>, J. L. Vera-Campos <sup>a</sup>, J. C. Sánchez-Nájera <sup>b</sup>, N. Hernández-Oliva <sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup>Instituto Politécnico Nacional ESIME Azcapotzalco, CP 02550, Ciudad de México, México.

<sup>b</sup>Instituto Politécnico Nacional CECyT 2 Miguel Bernard, CP 11260, Ciudad de México, México.

### Resumen

En este trabajo se desarrolla una propuesta de automatización utilizando un módulo LOGO Siemens para una máquina de fabricación de bloques, en la etapa de dosificación y mezclado. Se programaron bloques para los parámetros de porcentaje de materiales a dosificar, la cantidad en litros de agua requerida y el tiempo de duración del procedimiento de mezclado, los cuales serán seleccionados por el operador desde un panel de control por medio de pulsadores conectados al controlador. Antes de la conexión física, se realizaron pruebas de validación de cada sistema mediante simulaciones de software. Se realizó una segunda validación para comprobar que cada subsistema cumplía la función prevista y, por último, se efectuaron pruebas de campo para evaluar el comportamiento de la máquina en un entorno controlado. Los resultados muestran que la máquina automatizada funciona adecuadamente, e incluso presenta algunas ventajas adicionales en su aplicación.

**Palabras Clave:** Automatización, dosificación, mezclado, construcción, módulo lógico.

### Abstract

This work develops an automation proposal using a LOGO Siemens module for a block making machine, in the dosing and mixing stage. The module was programmed by means of function blocks for the parameters of percentage of materials to be dosed, the quantity in liters of water required and the duration time of the mixing procedure, which will be selected by the operator from a control panel by means of push buttons connected to the controller. Before the physical connection, validation tests of each system were carried out by means of software simulations. A second validation was performed to verify that each subsystem fulfilled the intended function and, finally, field tests were performed to evaluate the machine's behavior in a controlled environment. The results show that the automated machine performs adequately, and even presents some additional advantages in its application.

**Keywords:** Automation, dosing, mixing, construction, logic module.

## 1. Introducción

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2023), la industria de la construcción ha incrementado nuevamente el valor de su producción después de la baja ocasionada por la pandemia de COVID, esta se ve reflejada en un decremento desde mayo 2020 a febrero 2023, Statista (2023) es una plataforma global de datos e inteligencia empresarial en la cual pueden consultarse las estadísticas por sectores en diferentes países por lo que si se requieren de datos más precisos puede consultar ambas fuentes.

El sector de la construcción se recuperó nuevamente debido a la necesidad de un número mayor de inmuebles y viviendas a lo largo del país. Esto conlleva a una demanda mayor en los insumos requeridos para la industria este trabajo se centró en la fabricación de blocks empleados en la construcción, debido a que este procedimiento en algunos casos se sigue realizando casi de forma manual y solo en grandes compañías se ha transitado a la utilización de maquinaria automática para el proceso, lo que sin duda es una desventaja en sectores menores por lo que resultó viable realizar una propuesta asequible y para volúmenes de producción menores.

\*Autor para correspondencia: [nhernandezo@ipn.mx](mailto:nhernandezo@ipn.mx)

**Correo electrónico:** [erubioc1900@alumno.ipn.mx](mailto:erubioc1900@alumno.ipn.mx) (Eduardo Rubio-Carpio), [jverac1901@alumno.ipn.mx](mailto:jverac1901@alumno.ipn.mx) (José Luis Vera-Campos), [jsanchezn@ipn.mx](mailto:jsanchezn@ipn.mx) (Jesús Claudio Sánchez-Nájera), [nhernandezo@ipn.mx](mailto:nhernandezo@ipn.mx) (Noemi Hernández-Oliva).

**Historial del manuscrito:** recibido el 07/06/2024, última versión-revisada recibida el 19/04/2024, aceptado el 31/04/2024, en línea (postprint) desde el 05/06/2024, publicado el DD/MM/AAAA. **DOI:** <https://doi.org/10.29057/icbi.v12i24.12045>



De forma general, el proceso de elaboración de blocks se divide en tres etapas principalmente, descritas a continuación:

- Etapa 1. Dosificación y mezclado: se vierten los materiales que contendrá la mezcla de block, en las proporciones requeridas al número de unidades que se deben obtener. El siguiente paso consiste en el mezclado de los materiales, el cual se realiza en una caja con un eje cruzado de aspas onduladas llamado mezcladora. Sin embargo, este sigue siendo un proceso manual que requiere del trabajo de un operador, a diferencia de las otras dos, haciéndolo lento y con variaciones que dependen directamente del factor humano cuando la máquina no es automática.
- Etapa 2. Transporte de la mezcla: este se realiza utilizando transportadores.
- Etapa 3. Compactado: en esta etapa la mezcla proveniente del transportador se vierte en moldes y estos se compactan por un tiempo, para finalmente obtener el block fabricado.

En la Figura 1 se presenta una representación esquemática de cada etapa, el presente trabajo se centra en la primera.



Figura 1: Proceso de fabricación de block.

Dada esta necesidad debido al aumento de la demanda de insumos para construcción, se encontraron varias opciones de máquinas industriales que se utilizan en el proceso de fabricación de blocks, las cuales pueden encontrarse en catálogos o boletines que se encuentran disponibles en la red, estos tienen como característica principal que se centran en clientes de pequeñas y medianas empresas productoras de blocks, donde su volumen de producción es pequeño comparado con un sector más alto de la construcción; esto es importante recalcar porque la máquina diseñada en el Centro de Estudios ha sido enfocada para pequeños productores.

Algunas máquinas comerciales que sirvieron como antecedente son las siguientes. Olimaq (2021) es una empresa mexicana que se dedica a la manufactura de máquinas para fabricar blocks; Equipos Industriales (2023) ofrece maquinaria pequeña, las cuales corresponden únicamente a la etapa tres del proceso; Grupo Virca (2023) también se enfocan en la distribución de maquinaria para fabricar blocks pero al igual que la anterior compañía solo están enfocadas en la etapa tres; entre otras compañías que están enfocadas directamente con grandes empresas, por lo cual el costo a pequeños productores es elevado y los volúmenes de producción son muy altos.

Por otra parte, el sector académico, también cuenta con algunas propuestas que consideran al sector de la construcción, aunque, si bien no se centran en esta necesidad si han sido un referente para la automatización de procesos industriales, tal es el caso de Joo *et al.* (2007) los cuales estudian la automatización por medio de la tecnología de robots de construcción y así poder aumentar la productividad en edificios altos y sus implicaciones; en Adam *et al.* (2006) se analiza el diseño, la construcción y el funcionamiento de una máquina de prensa hidráulica móvil autónoma (RoboPress); en Wasana *et al.* (2019) se presenta un

análisis detallado de materiales para construcción centrándose en un caso de estudio.

Como ya se mencionó, el presente trabajo se centra en el desarrollo de una propuesta de automatización del sistema de dosificación y mezclado (etapa 1) para un prototipo máquina bloquera con la que se cuenta en el Centro de Estudios. Para ello se presenta la implementación de la programación a bloques utilizando un módulo lógico inteligente LOGO del fabricante Siemens, el cual permite realizar la automatización de esta etapa. La organización del documento es la siguiente: en la sección 2 se describe la propuesta de automatización, en la sección 3 se detalla la implementación del módulo y su programación; en la sección 4 se presenta el análisis y validación del sistema automatizado propuesto; finalmente en la sección 5 se exponen las conclusiones y trabajos a futuro.

## 2. Propuesta de automatización

Pese a que en el mercado actual del área de la construcción, existe una extensa variedad de máquinas semi-automatizadas y automatizadas para la fabricación de los insumos utilizados, estas no siempre cumplen eficientemente con los procesos, en el caso de la fabricación de blocks; como se menciona en la introducción, la etapa de dosificación y mezclado no ha tenido tantos cambios con respecto a las otras dos, por lo que sigue realizando de forma manual en algunos casos, y dependiendo totalmente del factor humano. Además, es importante recalcar que al automatizar un proceso, lo que se busca es mejorar la eficiencia y el estandarizar los diferentes productos o procesos obtenidos lo que representan múltiples ventajas en la realización del proceso como del producto obtenido.

Este trabajo se centra en la programación a bloques del dispositivo de Siemens denominado módulo lógico inteligente LOGO (para mayor detalle ver Siemens (2022)), este de acuerdo con el fabricante se emplea en pequeños proyectos, debido a su versatilidad en la implementación de diferentes funciones tales como: interruptores, temporizadores, contadores, por mencionar algunas que resalta el fabricante. De igual forma fue posible trabajar con la parte mecánica, para lo cual se realizó el diseño de un sistema con dos tolvas dosificadoras volumétricas, a partir de las cuales se obtienen las proporciones precisas de los materiales a mezclar en una revoladora, también de forma automatizada con el fin de producir una mezcla homogénea de cemento y tepojal; la máquina tiene instalado un tablero de control en el cual se realizó el montaje de cada uno de los elementos y dispositivos empleados, resaltando la del módulo LOGO, debido a que este tiene una pantalla, así como entradas físicas conectadas a botones pulsadores desde los cuales el operador o usuario selecciona cada una de los valores requeridos para la operación de la máquina.

Durante el diseño de la máquina, se consideró un volumen pequeño con el fin de poderse escalar a un valor mayor si el prototipo de la máquina funcionaba adecuadamente.

Para ello, el valor total de la mezcla corresponde con un volumen de 20 litros ( $20000 \text{ cm}^3$ ). La dosificación de los materiales se realiza por medio de dos cajas pequeñas (denominados vasos dosificadores), los cuales están ubicados en la parte inferior de escape de las tolvas; estas conforman un 5 % del 100 % de la mezcla total, por lo que se tendrá un límite de salida entre

ambos de 20 veces. La medida mínima del 5 % que se utilizó corresponde al estándar de uso en la construcción, hablando específicamente de las proporciones mezcladas. El mezclado de los materiales se realizó por un movimiento de los dosificadores, con los cuales se llenan y vierten los materiales de cada tolva dentro de la revoladora en vaivén mediante cilindros neumáticos lineales de doble efecto. El registro de tiempo de riego sobre la mezcla es analizado por el módulo inteligente debido al flujo de agua proporcionado por una bomba y el tiempo de mezclado es programado dentro del LOGO, lo que permite a un motorreductor hacer su trabajo. En la Figura 2 se muestra el ensamble final de la máquina realizado en el software de diseño y modelado mecánico SolidWorks versión estudiantil 2020.

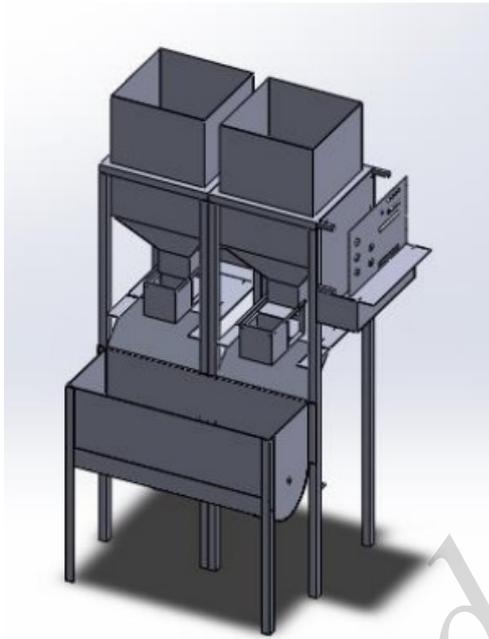


Figura 2: Ensamble final en SolidWorks.

### 2.1. Método matemático del vaso dosificador

Para conocer cuál es el valor correspondiente con el 5 % del valor total del vaso dosificador (100 % que equivale con  $20000 \text{ cm}^3$ ), se realizó la siguiente el cálculo correspondiente con la ecuación (1):

$$5\% = \frac{5 \times 20000 \text{ cm}^3}{100} \quad (1)$$

Del cual se obtiene:

$$5\% = 1000 \text{ cm}^3$$

Con este dato, se obtuvo el valor del interior del vaso dosificador, el cual debe ser de un  $V = 1000 \text{ cm}^3$ , con estos datos se requieren conocer las dimensiones necesarias del interior del vaso dosificador. Para ello se debe de despejar el valor  $a$  de la ecuación (2) para obtener el volumen de un cubo:

$$V = a^3 \quad (2)$$

Despejando  $a$ , se obtiene la ecuación (3)

$$a = \sqrt[3]{V} \quad (3)$$

Sustituyendo el valor de  $V$  en la ecuación (3), se obtiene como resultado:

$$a = \sqrt[3]{1000 \text{ cm}^3} = 10 \text{ cm}$$

En conclusión, el vaso dosificador debe de tener una dimensión interna de  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ , para que sea equivalente al 5 % del almacenamiento disponible en cada tolva.

### 3. Implementación del módulo LOGO Siemens

Como ya se ha mencionado que, para la automatización de la primera etapa del proceso de fabricación de blocks, correspondiente con la dosificación y mezclado de materiales, se hace uso de un módulo lógico inteligente LOGO V8 de la marca Siemens, para lo cual se seleccionó el modelo 24CE, el cual tiene como principales características: alimentación de entrada 24 VCD, 4 salidas que entregan 24 VCD tipo transistor y una corriente máxima de 0.3 A. Dadas las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante, se hizo la conexión de las salidas que van hacia los solenoides de las electro válvulas que permiten la activación de los cilindros neumáticos para el avance y retroceso de sus vástagos. Además, se agregó un módulo extensor de entradas y salidas, modelo DM8 12/24R, para la conexión de los dispositivos de fuerza: bomba de agua y motorreductor; los cuales tienen las siguientes especificaciones: alimentación de entrada 24VCD, 4 entradas, 4 salidas a relé que permiten trabajar hasta con 250 VCA a 8 A.

El módulo lógico fue programado por medio de la interfaz gráfica de Siemens, disponible en el software LOGO! Soft Comfort versión V8.0. Para la automatización del dosificado y mezclado de materiales se utilizaron diferentes Funciones de Usuario Programadas (FUP), estas se basan en bloques de código predefinidos que realizan una tarea en específico dentro del módulo inteligente. Algunas de las funciones a destacar son: temporizador con retardo (conexión, desconexión o ambas), contador adelante/atrás, relé autoenclavado, instrucciones aritméticas.

A continuación, se describe brevemente la lógica de funcionamiento del programa se muestra en la Figura 3 mediante un diagrama de flujo.

Del diagrama de flujo del programa se siguen los siguientes pasos para la primer etapa se consideran todos los aspectos relacionados con la configuración de los parámetros, para la segunda etapa se considera que una vez configurado el proceso da inicio de no existir inconvenientes, finalmente en la tercer etapa se precede a ejecutar cada una de las tareas programadas y así concluir con el proceso:

- Introducción de los datos porcentuales de los materiales de la mezcla, los litros de agua y el tiempo de mezclado requeridos.
- Aumentar o disminuir el porcentaje de tepojal mediante las entradas I1 o I2.
- Aumentar o disminuir el porcentaje de cemento mediante las entradas I3 o I4.
- Aumentar o disminuir el valor de los litros de agua requeridos para la mezcla mediante las entradas I5 o I6.
- Aumentar o disminuir el tiempo de mezclado mediante las entradas I7 o I8.

- La función contador adelante/atrás es la principal para llevar a cabo el conteo ascendente o descendente.
- De existir algún error en los valores seleccionados, es posible modificarlos a través de la combinación de la activación de las entradas I1 e I3, las cuales tienen la función de reinicio/reset de estos previo al arranque del ciclo.
- La función del bloque Instrucción aritmética es realizar una serie de operaciones matemáticas básicas para definir y convertir el conteo en la cantidad de veces de recorrido que harán los vástagos de los cilindros neumáticos, así como de establecer los litros de agua por medio del flujo de la bomba y establecer el tiempo de duración de la mezcla de cemento y tepojal.
- Se habilitan las entradas I9 que representan el inicio de la etapa y I10 el cual consiste en el paro de emergencia de la máquina.
- Inicio del ciclo de dosificado y mezclado de los materiales.

- programado. La cantidad de Tepojal y Cemento se administrara en porcentaje (%), la cantidad de agua se administrara en litros (L), El tiempo de mezclado se registrara en minutos (mín).
- Las Salidas Q1 y Q2 representan los solenoides (Y1+ y Y1-) que controlan a los cilindros neumáticos de doble efecto los cuales realizan una acción de abrir y cerrar la tolva que almacena el tepojal.
- Las Salidas Q3 y Q4 representan los solenoides (Y2+ y Y2-) que controlan a los cilindros neumáticos de doble efecto los cuales realizan una acción de abrir y cerrar la tolva que almacena el cemento.
- Las salidas Q5 y Q6 representan el aumento y descenso que registra un temporizador (Tempo) que controlara la cantidad de tiempo que estará activa bobina (KM1) perteneciente al arrancador de la bomba de agua.
- Las salidas Q7 y Q8 representan el aumento y descenso que registra un temporizador (Tempo) que controlara la cantidad de tiempo que estará activa bobina (KM2) perteneciente al arrancador del motor de la revolvedora.

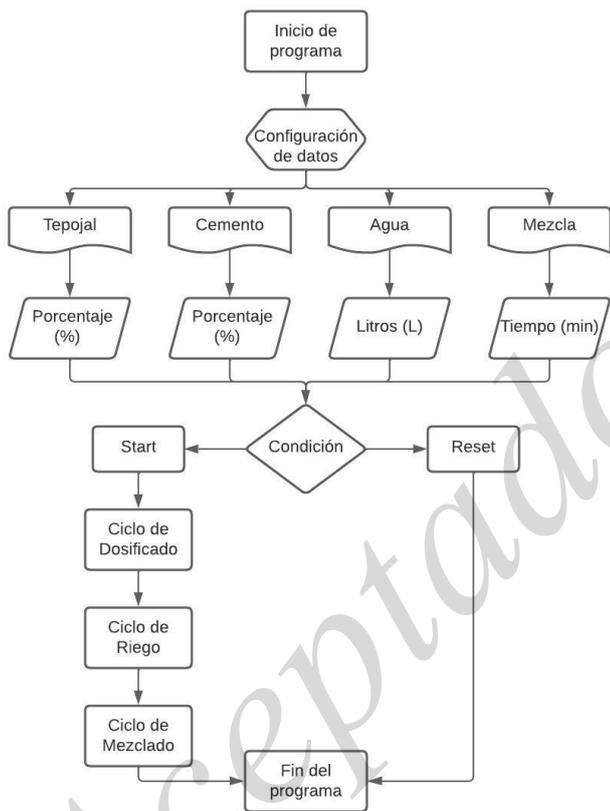


Figura 3: Diagrama de flujo proceso automatizado de dosificación volumétrica y mezclado.

Dentro de la programación en bloques las entradas digitales son representadas por la letra “I” seguido de un número de conteo, y las salidas se indican por la letra “Q” seguido de un número de conteo, como se presenta en Tabla 1.

- Las entradas S1-S8 representan botones de tipo pulsador (Sn) en el tablero de control, estas entradas mandan pulsos a contadores, los cuales registran la cantidad de agregados (Tepojal, Cemento, Agua) y Mezclado que se ha

Tabla 1: Asignación de entradas y salidas del programa

Entrada	Descripción	Salida	Descripción
(I1) S1	Aumento (%) Tepojal	(Q1) Y1 (+)	Cilindro A+
(I2) S2	Descenso (%) Tepojal	(Q2) Y1 (-)	Cilindro A-
(I3) S3	Aumento (%) Cemento	(Q3) Y2 (+)	Cilindro B+
(I4) S4	Descenso (%) Cemento	(Q4) Y2 (-)	Cilindro B-
(I5) S5	Aumento (L) Agua	(Q5) Tiempo (+)	KM1 Bomba de agua
(I6) S6	Descenso (L) Agua	(Q6) Tiempo (-)	KM1 Bomba de agua
(I7) S7	Aumento (min) Revolvedora	(Q7) Tiempo (+)	KM2 Revolvedora
(I8) S8	Descenso (min) Revolvedora	(Q8) Tiempo (-)	KM2 Revolvedora

Finalizada la dosificación y teniendo los agregados en la revolvedora, de forma inmediata y automática inicia el regado, donde Q5 representa la bomba de agua, la cual es controlada por un bloque de Temporizador configurado gracias a la conversión del flujo de agua de la bomba a los litros (valor establecidos por el usuario) por medio del bloque programable Instrucción aritmética (para mayor detalle de los bloques utilizados consulte el manual de programación del LOGO Soft V8.0, disponible en Siemens (2022)). Por último, el mezclado de los materiales es realizado por el motorreductor, representado en el programa por la salida Q6 y controlado por otro Temporizador configurado su tiempo desde la primera etapa del programa. Al término de la etapa de dosificación y mezclado de forma automática.

#### 4. Análisis y validación del sistema automatizado

Actualmente, la máquina se encuentra funcionando con un sistema en lazo abierto como el que se muestra en la Figura 4, en donde las entradas del proceso corresponde con los % de cemento y tepojal, el tiempo de duración del ciclo y los litros de agua requeridos, mientras que a la salida del sistema se obtiene la mezcla.

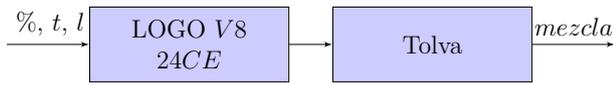


Figura 4: Sistema en lazo abierto de la Tolva.

Las pruebas realizadas a la máquina (ver Figura 5), fueron desarrolladas para validar cada uno de los sistemas, los cuales son descritas con mayor detalle a continuación.



Figura 5: Prototipo de la máquina de dosificación volumétrica y mezclado.

##### 4.1. Pruebas eléctricas

Previo a conexiones eléctricas físicas, se realizaron simulaciones para verificar el correcto funcionamiento del programa del LOGO y cómo este se comporta con el tablero de control y los elementos de trabajo, tales como la bomba de agua, el motorreductor y las electroválvulas. Con el fin de validar el funcionamiento previo a la conexión física de la máquina, se realizaron simulaciones del programa en el software propio LOGO! Soft Comfort V8.0 y para la parte de los circuitos eléctricos se utilizó CAdESimu V4.0, como se aprecia en las Figuras 6 y 7, una vez verificada se procedió a la conexión y cableado de los elementos de la máquina. Una vez comprobado, se sube el programa a la interfaz del módulo y se inician las conexiones físicas para examinar los elementos de trabajo y sus operaciones dentro de la etapa. Esto permitió validar el funcionamiento de la máquina después de implementar la automatización.

En la Tabla 2 se describen cada función correspondiente con cada elemento del tablero de control, el cual se muestra en la Figura 8 junto con sus conexiones.

Tabla 2: Funciones de los elementos del tablero de control

No.	Elemento	Función
1	1er. columna de pulsadores	Porcentaje de Tepojal (Verde=augmenta; Rojo=disminuye)
2	2da columna de pulsadores	Porcentaje de Cemento (Verde=augmenta; Rojo=disminuye)
3	3er columna de pulsadores	Litros de Agua (Verde=augmenta; Rojo=disminuye)
4	4ta columna de pulsadores	Tiempo en minutos (Verde=augmenta; Rojo=disminuye)
5	Botón pulsador NA	Reset
6	Botón pulsador NA	Arranque del proceso de dosificación, riego y mezclado
7	Botón pulsador NC	Paro de emergencia de todo el proceso
8	Indicador luminoso verde	Representa el arranque del proceso de dosificación
9	Indicador luminoso ámbar	Representa el inicio de riego y mezclado
10	Indicador luminoso rojo	Representa el paro de todo el proceso
11	Módulo lógico inteligente LOGO	Recibe todas las señales de los elementos de entrada para el control de los elementos de trabajo
12	Extensor LOGO	Aumenta el número de entradas y salidas del módulo lógico inteligente LOGO

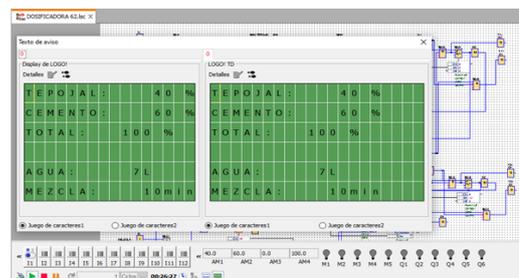


Figura 6: Simulación del programa a bloques en LOGO Soft Comfort V8.0.

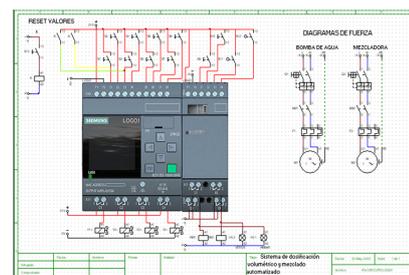


Figura 7: Simulación del circuito eléctrico y de fuerza en el software CAdESimu V4.0.

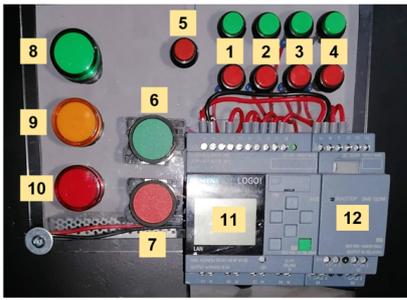


Figura 8: Conexiones del tablero de control.

#### 4.2. Pruebas neumáticas

El sistema neumático de la máquina está conformado por la fuente de alimentación neumática (compresor), válvulas reguladoras, cilindros de doble efecto y sus electroválvulas. Dado que su objetivo es dosificar los materiales mediante el movimiento en vaivén de los cilindros, en unión con los dosificadores.

Dicho sistema va de la mano con la parte eléctrica, por ello, el procedimiento de prueba es indicar un porcentaje de dosificación de los materiales mediante el accionamiento de los pulsadores instalados en el tablero de control de la máquina. Accionado el ciclo, las electroválvulas harán el trabajo lineal de los cilindros y se visualizará si se requieren ajustes en la carrera de los mismos, o bien si se necesita regular su fuerza de empuje, en la Figura 9 se presenta la secuencia de movimiento programada.

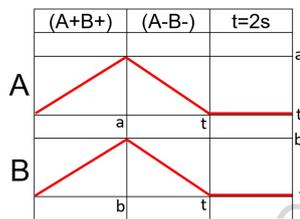


Figura 9: Secuencia de movimiento de los cilindros A y B.

Para la dosificación de los materiales de las dos tolvas (tepojal y cemento), se implementa un sistema neumático de dos cilindros de doble efecto (A y B), controlados por una electroválvula 3 vías 2 posiciones biestable con accionamiento por solenoide cada uno. Ambos están unidos con los vasos dosificadores. Las señales de control de los solenoides son enviadas por el módulo lógico inteligente LOGO.

El estado inicial de los cilindros es contraídos, finalizada la configuración de parámetros por medio del tablero de control y accionado el proceso, el módulo lógico inteligente LOGO, activa los solenoides Q1 y Q3, dando salida a los vástagos de los cilindros. Al completar su carrera entran en contacto con un interruptor de límite de rodillo, provocando una señal de entrada al LOGO, y este a su vez, realiza dos trabajos simultáneos, enviar una señal de salida hacia los solenoides Q2 y Q3, dando regreso a los pistones; y activar un temporizador a la desconexión interno, el cual da el tiempo suficiente para la contracción de los cilindros y el llenado de los vasos. Finalizado el tiempo, el LOGO vuelve a enviar señal a Q1 y Q3 para repetir la

secuencia, dependiendo la configuración de parámetros y hasta llegar al límite de salida entre ambos cilindros (20 veces).

#### 4.3. Pruebas mecánicas

Las pruebas del sistema mecánico contemplan dos subsistemas, el correspondiente con la bomba de agua y el motorreductor utilizados, con los cuales se obtuvo el funcionamiento adecuado de los elementos mecánicos en el momento de realizar el ciclo de mezclado de los materiales provenientes de las tolvas.

##### 4.3.1. Bomba de agua

Se instaló una bomba periférica de agua de  $\frac{1}{2}$  Hp, la cual trabaja a una tensión de 127 V con una corriente de 3 A, entregando una velocidad de 3450 rpm. La especificación técnica que se contempló para su selección corresponde con el flujo máximo de 31 L/min que entrega. Esta última, es redondeada a 30 L/min, este dato es necesario porque corresponde con el que es ingresado al LOGO con una relación de 1 L cada dos segundos mediante el uso del bloque de función aritmética. Y con esto, indicar los litros de agua que se utilizaran por medio de la activación de los botones pulsadores montados en el tablero de control como parámetros de configuración para el ciclo, mientras que en el LOGO es posible corroborar la relación del flujo de la bomba con el caudal expulsado dentro de la revoladora.

Otra condición a tomar en cuenta, corresponde con la verificación del sistema y de comprobar que no hayan problemas de fugas de agua, para ello se debe purgar la bomba y considerar una altura de 20 cm hasta 40 cm de la máquina con el fin de facilitar que el ciclo de riego de la bomba corresponda con el valor necesario para el adecuado mezclado.

##### 4.3.2. Sistema de motorreductor

En este sistema, se realizaron ajustes en el mecanismo de acoplamiento y en la capacidad del motorreductor. Inicialmente se contaba con uno de  $\frac{1}{2}$  Hp a 30 rpm, el cual se encontraba acoplado con la revoladora a través de un mecanismo banda-polea, con las siguientes dimensiones: la polea del eje de la revoladora es de 3.5" y la del motorreductor es de 5", con esto se obtuvo una velocidad de giro del motor correspondiente con 42 rpm. Sin embargo, el resultado no cumplía con los requerimientos para un funcionamiento adecuado, debido a que el torque del eje no era suficiente para realizar el proceso de mezclado durante el ciclo.

Por lo que en el nuevo sistema conectado, se hizo el cambio del motorreductor y se implementó un mecanismo de tipo cadena-piñón para mantener la relación de transmisión constante y evitar el deslizamiento, de igual forma, se soldaron soleras sobre el eje de la revoladora para facilitar el ciclo de mezclado y obtener una mezcla mucho más homogénea con respecto a la primera versión. El motorreductor monofásico es de  $1 \frac{1}{2}$  Hp con una velocidad de 30 rpm y una salida de torque total de 857 lb/inch, el cual se encuentra unido a la revoladora con el mecanismo; ambos piñones tienen una relación 1:1 de 20 dientes y paso de 35.

Al ocupar un motorreductor con mayor potencia, también se requirió incorporar una protección de sobrecarga o cortocircuito, entre el LOGO y el elemento de trabajo esto con el fin de no dañar parte del circuito eléctrico; para esto se instaló un arrancador electromagnético de capacidad de 10 A a 600 V y para su

correcto energizado una pastilla de protección termo-magnética a 10 A.

Adicionalmente, como parte de las condiciones de operación de la máquina como elementos de seguridad para el operador, se adaptó un cubrecadena para la revolventora, una tapa para evitar actos inseguros de cualquier operador, además de un interruptor de límite el cual cumple con la función de suprime el paso de corriente total si se levanta la tapa de la revolventora y por ende el ciclo se detiene.

#### 4.4. Pruebas de validación a la máquina

En Bloquera (2022) se pueden encontrar parte de la normatividad correspondiente al sector de la construcción, posteriormente se describirán con mayor detalle otras más que pueden considerarse parte del desarrollo de maquinaria para cualquier etapa del proceso.

En conjunto, cada uno de los sistemas que forman parte de la máquina corresponden con la automatización del proceso de dosificación y mezclado. Una vez concluido el ensamble y unión de estos, se realizaron pruebas de campo para analizar el comportamiento de la máquina a nivel industria en una escala media.

Cabe mencionar que, para realizar estas pruebas de trabajo en empresas o compañías, es indispensable que la máquina cumpla con la normativa nacional establecida en el sector de la construcción, tanto en el aspecto de seguridad, instalación eléctrica, como en la dosificación de la mezcla. Es por ello, que se tomaron en cuenta y cumplieron los parámetros de las siguientes normas:

1. NMX-J-529-ANCE-2020: grados de protección proporcionados por los envoltorios (códigos IP).
2. PROY-NOM-001-SEDE-2018: instalaciones eléctricas (utilización).
3. NMX-C-021-ONNCCCE-2015: industria de la construcción-cemento para albañilería (mortero) - especificaciones de métodos de ensayo.
4. NOM-CH-71-1986: instrumentos de medición-dosificadoras-clasificación y definiciones objetivo y campo de aplicación.
5. MX-I-62443-4-1-NYCE-2021: electrónica-seguridad para los sistemas de automatización y control industrial-parte 4-1: requisitos del ciclo de vida del desarrollo seguro del producto.

Una vez cumplidos con estos requisitos, a la máquina propuesta se le implementó una protección IP65 regido de acuerdo con los grados establecidos en la primera norma, la cual establece que los dispositivos, elementos y componentes eléctricos deben estar resguardados dentro de un gabinete hermético, evitando con ello el paso de cualquier partícula dispersa en el aire (polvo, tierra), así como el contacto de agua con los elementos.

Para el diseño final de la máquina se tomó en cuenta la cuarta norma, la cual engloba la clasificación de las dosificadoras por medición, y por otro lado, los diferentes tipos de mecanismos utilizados en ellas. Dentro de la propuesta que se tiene fue seleccionada una dosificadora volumétrica automática del tipo vasos u orificios regulables.

Por otro lado, el producto obtenido en campo fue una mezcla homogénea que cumple con las especificaciones de la tercera norma, permitiendo utilizarla para la fabricación de blocks en la albañilería.

Debido a esta validación, la máquina propuesta se encuentra sometida a un trámite de protección de propiedad intelectual (patente) por medio del Instituto, por lo que algunos datos se encuentran en revisión.

## 5. Conclusiones

En este trabajo, se presentó una propuesta de sistema automatizado de dosificación y mezclado de una máquina para la fabricación de blocks como las que se emplean en la construcción, la cual ofrece ventajas notables, tales como la reducción del tiempo de producción, disminución de residuos y una mayor seguridad tanto para el operador como para terceros. Estas mejoras se respaldan con cada una de las pruebas realizadas en campo, bajo condiciones controladas en esta primera fase del proyecto, utilizando un módulo LOGO como componente clave de la máquina.

Para el correcto desempeño de la máquina, la precisión en la dosificación fue crucial, lográndose mediante la programación de las cantidades exactas de los materiales (cemento y tepalcates) en la revolventora. La eficiencia se incrementa al eliminar los posibles errores humanos, mediante la sincronización de los sistemas eléctricos y mecánicos, debido a que la dosificación es realizada por medio de cilindros neumáticos, la mezcla es controlada por tiempo y por un valor preciso del flujo de agua; todos estos parámetros fueron programados en un solo dispositivo, para este trabajo un módulo LOGO. Esta propuesta permitió la reducción del tiempo de mezclado y aumentar la producción, sin comprometer la calidad de la mezcla obtenida, ya que se tiene una configuración precisa de cada componente a diferencia del proceso manual donde se requiere de la habilidad del encargado de ejecutar esta tarea el cual está sujeto a múltiples condiciones.

Por otra parte, la reducción de los residuos beneficia al medio ambiente y reduce costos ya que al conocerse el valor preciso de la mezcla no se tienen un desperdicio de materiales, además que la seguridad laboral también mejora, debido a que se reduce la manipulación manual de materiales lo que provoca un cansancio durante el tiempo que se está ejecutando el mismo procedimiento. El sistema también ofrece mayor seguridad de operación para terceros, ya que de igual forma se reducen posibles riesgos, proporcionando un entorno más seguro en la operación industrial. También permite la personalización de mezclas para concreto y un mantenimiento económico, sin necesidad de interrupciones significativas en la producción.

Finalmente, este sistema de dosificación volumétrica automatizado propuesto podría ser implementado utilizando otro tipo de mezclas y en otro tipo de procesos de dosificación, puesto que su efectividad para esta función ya ha sido ampliamente demostrada a través de cada una de las diferentes pruebas.

## Agradecimientos

Todos los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional a través de la Secretaría de Investigación y Posgrado el apoyo otorgado por medio del proyecto de Desarrollo Tecnológico

o Innovación en el IPN “Sistema de dosificación volumétrico y mezclado de una máquina bloquera”, el primer y segundo autor agradecen por la beca BEIFI otorgada.

## Referencias

- Adam, G. K., Grant, E., Samaras, N., Lee, G. K., y Tummala, L. (2006). Knowledge-based control of an automated mobile press (robopress) for manufacturing moulded concrete elements. En *2006 World Automation Congress*, pp. 1–6.
- Bloquera (2022). <https://www.blockera.com/contenido/ini-cio/normatividad/index.html>, Mayo de 2022.
- Equipos Industriales (2023). <https://www.maquinasbloquerasmx.com/>, Mayo de 2023.
- Grupo Virca (2023). <https://grupovirca.com/>, Marzo de 2023.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2023). <https://www.inegi.org.mx/temas/construccion/>, Mayo de 2023.
- Joo, H., Son, C., Kim, K., Kim, K., y Kim, J. (2007). A study on the advantages on high-rise building construction which the application of construction robots take (iccas 2007). En *2007 International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 1933–1936.
- Olimaq (2021). <https://olinmaq.com/>, Noviembre de 2021.
- Siemens (2022). <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo.html>, Mayo de 2022.
- Statista (2023). <https://es.statista.com/estadisticas/577176/sector-de-la-construccion-valor-de-produccion-en-mexico/>, Mayo de 2023.
- Wasana, K., Gunatilake, S., y Fasna, M. (2019). Performance comparison of prefabricated building construction projects vs. traditional on-site construction projects. En *2019 Moratuwa Engineering Research Conference (MER-Con)*, pp. 169–174.

Aceptado/Accepted