

# Sistema de dosificación volumétrica de auxiliares y colorantes para la preparación del color en un laboratorio textil

*Autor-Pablo MONTENEGRO<sup>1</sup>, Coautor-Carlos OBANDO<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Facultad de ingeniería en ciencias aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Calle A 118, 612 00 Ibarra, Imbabura

<sup>2</sup> Facultad. de ingeniería en ciencias aplicadas, Docente, Universidad Técnica del norte, Calle 2, 166 27 Ciudad, Provincia

pablom0327@gmail.com, cobando@utn.edu.ec.com

**Resumen.** *Cada día los procesos de laboratorio en el campo textil son más complicados y tediosos y a medida que la tecnología avanza las industrias se han visto obligadas a incluir la automatización como parte fundamental de sus procesos. Este proyecto se desarrolla sobre una necesidad específica en el laboratorio textil de la planta Indutexma, que es la dosificación de colorantes, esta tarea la realizan los laboratoristas de manera manual y requiere de tiempo, concentración y destreza para poder garantizar la precisión de la dosificación. El sistema propuesto contribuye a la automatización del proceso de desarrollo de color, permite ubicar cada uno de los colorantes y dosificar la cantidad deseada utilizando actuadores electromecánicos controlados por un controlador digital desarrollado en el software Labview el cual ha permitido también desarrollar una interfaz fácilmente operable para usuario. Con el fin de optimizar los costos se ha utilizado una computadora como controlador gracias a las ventajas de programación y control que ofrece el programa Labview y como interfaz de máquina se ha seleccionado utilizar un Arduino como tarjeta de adquisición de datos ya que posee un gran número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales.*

## Palabras Claves

Dosificación, pipeta, sistema, volumétrico, controlador.

**Abstract.** *Every day laboratory processes in the textile field are more complicated and tedious and as technology advances industries have been forced to include automation as an essential part of their processes. This project is developed on a specific need in the textile laboratory Indutexma plant, which is the dosage of dyes, this task is done manually by the laboratory workers and requires time, concentration and skill to ensure the accuracy of dosing. The proposed system contributes to the automation of the development process color, the system can locate each of the dyes and dispense the desired amount using*

*electromechanical actuators controlled by a digital controller developed in Labview software which has also helped develop an easily operable interface user. In order to optimize costs, a computer was used as a controller thanks to the advantages of programming and control offered by the Labview program and how machine interface was selected an Arduino as card data acquisition since it has a large number of analog and digital outputs and inputs.*

## Keywords

Dosage, pipette, system, volumetric, controller.

## 1. Introducción

Las empresas textiles dedicadas a la tintorería se encuentran actualmente en fase de expansión debido a que la sociedad ecuatoriana demanda una mayor producción textil nacional. Por esta razón las industrias se ven obligados a mejorar continuamente cada uno de sus procesos productivos ya que solo de esta manera se garantiza la calidad y competitividad del producto. Dentro de los múltiples procesos productivos que existen uno de los procesos iniciales en el desarrollo de textiles es la elaboración del color, este proceso es de vital importancia ya que de la precisión con que se ejecute esta fase dependerá la calidad de los demás procesos y por ende del producto final. El proceso de desarrollo de color consta de varias tareas que se realizan de manera manual una de las más esenciales es la dosificación de colorantes líquidos, este proyecto se centró precisamente en la automatización de esta tarea ya que es aquí en donde se cometen errores y retrasos que afectan la calidad del producto final.

La fábrica textil Indutexma ubicada en el sector de Punyaro en la ciudad de Otavalo cuenta con el equipo y la maquinaria necesaria para realizar diversos procesos textiles tales como: tejido, tintorería y acabados textiles.

Específicamente el laboratorio de la fábrica Indutexma se dedica en un gran porcentaje de su tiempo al desarrollo de colorantes para textiles, aquí se prepararan las muestras iniciales que darán inicio a todo el proceso de tinturación de una fibra, una vez que la tonalidad de la muestra ha sido aprobada, es aquí donde se implementó el sistema de dosificación volumétrico con el fin de automatizar la tarea de dosificación para la preparación del color para muestras.



**Figura. 1.** Dosificación manual de colorantes líquidos. (Indutexma, 2016)

La tarea de dosificación es un proceso repetitivo y requiere de mucha concentración para realizarlo manualmente, además debido a que los laboratoristas trabajan bajo presión y deben cumplir con una extensa carga de trabajo al día, se presentaban fallas en las tonalidades de color en las muestras, esto es una consecuencia directa de errores de precisión que se comenten en la dosificación de colorantes líquidos. Actualmente con el sistema implementado se ha logrado reducir significativamente los errores que se presentan en la dosificación, evitando así las fallas de tonalidades en muestras. El uso del sistema también ha permitido reducir la carga de trabajo sobre los laboratoristas desplazando hasta cierto grado el trabajo manual repetitivo de dosificar, el sistema implementado además ha permitido tener una mayor organización en cuanto a la distribución de colorantes ya que todos los colorantes que se usan en el proceso ahora se distribuyen dentro del sistema.



**Figura. 2.** Sistema de dosificación volumétrico implementado

## 2. Materiales y Métodos

La automatización del proceso de dosificación para a preparación de colorantes en el desarrollo de color no es un tema nuevo ya que al momento existen varias empresas comerciales que diseñan y venden maquinaria textil entre ellos varios tipos de sistemas de dosificación. Para poder establecer el sistema más adecuado a las necesidades del laboratorio textil de la fábrica Indutexma se realizó un estudio detallado de todas las tareas, métodos e instrumentos que intervienen en el proceso de dosificación en el mencionado laboratorio, a continuación se destacan algunos de los mas importantes.

### 2.1 Proceso de desarrollo de color en los laboratorios textiles

Un laboratorio textil cumple con múltiples funciones en el desarrollo de producto textil, una de ellas es la etapa inicial de tintorería; dentro del proceso de elaboración del color para la tintorería cumple básicamente con tres funciones:

**Creación de un color:** consiste en formular un nuevo color el cual no tiene una receta previa de preparación.

**Preparación de muestras:** consiste en seguir una receta previa para obtener una muestra del color que se propone, las muestras generalmente son sometidas a controles de calidad para su posterior aprobación.

**Reproducción de un color:** consiste en la investigación de los materiales que componen un color ya existente para su posterior reproducción.

En los tres procesos mencionados se debe preparar los materiales y dosificar tanto los colorantes como los auxiliares que formaran el color final deseado. Este proyecto se centró específicamente en la etapa de dosificación,

## 2.2 Dosificación de auxiliares y colorantes en la preparación del color

Una receta de color contiene tres elementos esenciales que son agua, colorantes y auxiliares. Este proyecto se ocupará de la dosificación de colorantes y auxiliares.

Una receta de color presenta generalmente la estructura ilustrada en la siguiente figura:

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN COLORANTE

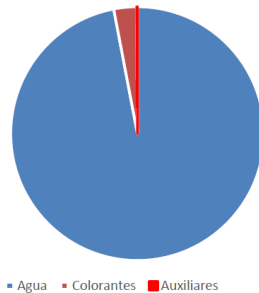


Figura 3. Elementos constitutivos de un colorante (Lockuán Lavado, 2012)

La mayoría de las recetas tienen un volumen total de 60 [ml] ya que se preparan en envases de mezcla y teñido que admiten un máximo de 60 [ml]. De este volumen total aproximadamente 2 [ml] son colorantes y auxiliares, y el volumen restante es agua. Cada receta de color se compone de una mezcla de los tres colores primarios: amarillo, azul y rojo, cada uno de ellos tienen un rango de dosificación que puede ir desde los 0,01 [ml] hasta 10 [ml], de igual manera los auxiliares pueden ir desde los 0,01 [ml] hasta los 5 [ml].

## 2.3 Instrumentos utilizados para la dosificación en un laboratorio textil

Se conoce como instrumento a cualquier artefacto o utensilio diseñado para realizar una tarea técnica específica. Los instrumentos ayudan en cierta forma a facilitar el trabajo manual, también permiten canalizar un esfuerzo físico o mecánico realizado por un ser humano, de manera que se aproveche toda esa energía y se realice un trabajo de manera más eficiente y precisa.

Existen instrumentos diseñados específicamente para facilitar las diversas tareas que se requieren hacer en un laboratorio textil, por lo general son casi los mismos instrumentos que se utilizan en cualquier laboratorio químico, los cuales se presentan a continuación a detalle ya que se hace necesario conocer el uso y funciones que permiten realizar cada uno de ellos. Los principales instrumentos que se utilizan en el laboratorio textil Indutexma se dividen en dos grupos:

**Material recipiente:** es todo aquel elemento que brinda la capacidad de almacenar un material ya sea en estado sólido

o líquido dentro de estos se tienen frascos de todo tipo de material, matraces, envases de preparación de muestras etc.

**Material Volumétrico:** *Todo aquel instrumento que permita realizar una medición de volumen de un material o compuesto determinado se conoce en laboratorio como material volumétrico, existe material volumétrico de diversos tipos, diseñados para cada función y necesidad del laboratorista. La mayoría de material volumétrico estándar se comercializa construido en vidrio, dentro de estos se encuentran las pipetas, buretas, y los pipetadores.* (Integra, 2014)

## 2.4 Automatización del proceso de dosificación

La necesidad de automatizar el proceso de dosificación nace hace mucho tiempo atrás. Como ya se ha observado en las secciones anteriores, existen ya en el mercado sistemas desarrollados con ese propósito, sin embargo pese a la versatilidad que ofrecen estos equipos aún no existe en el mercado un sistema que se ajuste a las necesidades de la industria textil nacional y cuyo valor de compra justifique el volumen de producción de la misma. En este proyecto se ha propuesto el diseño y construcción de un sistema de dosificación que se ajuste tanto a los requerimientos técnicos de producción, como a la economía de las empresas textiles nacionales.

La fábrica textil Indutexma trabaja en su mayoría con fibras de algodón y poliéster, por lo cual el sistema propuesto se diseñó exclusivamente para trabajar con estos dos tipos de fibras. Cabe resaltar también que las restricciones y límites que se aplicaron en el mismo están dadas por el sistema de producción y las necesidades requeridas exclusivamente en este lugar

### Requerimientos del sistema:

El sistema propuesto en este proyecto tiene como finalidad agilizar el proceso de reproducción de muestras de colorantes en el laboratorio textil de la fábrica Indutexma. Una vez que se observaron con detenimiento las necesidades y complicaciones que se presentan en el desarrollo de este proceso, se establecieron los parámetros con los que el sistema propuesto debe cumplir. A continuación se enumeran cada una de las características que deberá tener presente el sistema propuesto:

Precisión de dosificación de 90%

Dispensación automática.

Contar con la cantidad de botellas igual al mínimo de colorantes requeridos para la preparación de recetas para muestras de algodón y poliéster (15 mínimo para poliéster y 20 mínimo para algodón).

### 2.5 Diseño mecánico del sistema de dosificación

Para garantizar la agilidad del proceso de dosificación se debió realizar un diseño que permita la ubicación de todos los materiales necesarios para el procesos (en este caso son auxiliares y colorantes) dentro de un espacio físico reducido y además del diseño de un sistema de movimiento de ejes coordinados para la ubicación de los colorantes y la dosificación de los mismos a continuación se describe todo el proceso de diseño:

#### Selección del material de construcción

Para seleccionar el material de construcción de la estructura de soporte fue necesario considerar todos los factores que influyen en el proceso como la corrosión de algunos productos y los requerimientos del sistema y evaluar todas las ventajas y desventajas propias de cada material a considerar; entre los requerimientos importantes del sistema se debe considerar la rigidez, peso, resistencia a la corrosión, y el costo del material.

Material	Resistencia a la fluencia	Dureza	Resistencia a la Corrosión	Maquinabilidad	Peso	Costo
Acero	300 Mpa a 600 Mpa dependiendo del tipo	250 HB	Alta sobre todo en aceros inoxidables	se requiere herramienta y procesos especializados para su maquinabilidad	7858 kg/m <sup>3</sup>	Alto
Aluminio	27.5 a 100 Mpa a 100 Mpa	20 HB	Alta	fácil de maquinar	2710 kg/m <sup>3</sup>	Bajo
Latón	117 Mpa a 340Mpa	120 HB	baja	fácil de maquinar	8500 kg/m <sup>3</sup>	Bajo
Polimeros (Plasticos)	7Mpa a 150 Mpa	10 HB	Media y alta dependiendo del tipo de polimero	fácil de maquinar	1190 kg/m <sup>3</sup>	Medio

Tabla 1. Tabla comparativa de materiales. (Mott, 2000)

#### Diseño mecánico de estructura de soporte y sistema de movimiento de ejes

Este diseño concentra toda la movilidad en el dosificador brindándole tres grados de libertad. Posee una base para botellas de colorantes estática que permite al dosificador ubicarse en cada uno los frascos para los colorantes

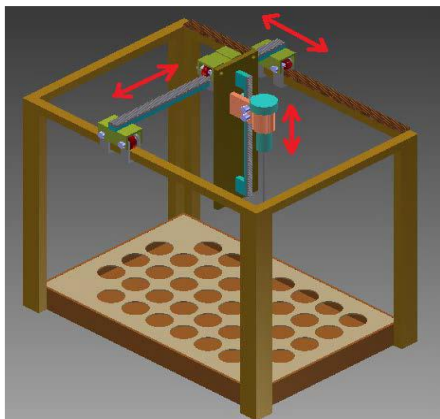


Figura 4. Diseño de la estructura de soporte y sistema de movimiento de ejes

#### Análisis y simulación de los elementos críticos del diseño mecánico propuesto

Se consideran elementos críticos del diseño a todas aquellas secciones que están soportando una carga dentro del sistema en este caso los únicos elementos que soportan cargas son los ejes de movimiento a continuación se detalla el análisis realizado:

#### Análisis de carga:

Para el análisis de la carga se tomó en cuenta el peso del dosificador y de la estructura de apoyo para el dosificador, dando como resultado una carga de 2.5 [Kgf] equivalente a 24,5 [N], esta carga se distribuye a lo largo de los dos ejes de movimiento siendo el eje más largo el que más carga soporto por esta razón se hace el análisis en la barra de soporte transversal (que constituye el eje de movimiento y), en donde la carga se encuentra aplicada como se ilustra en la siguiente figura:

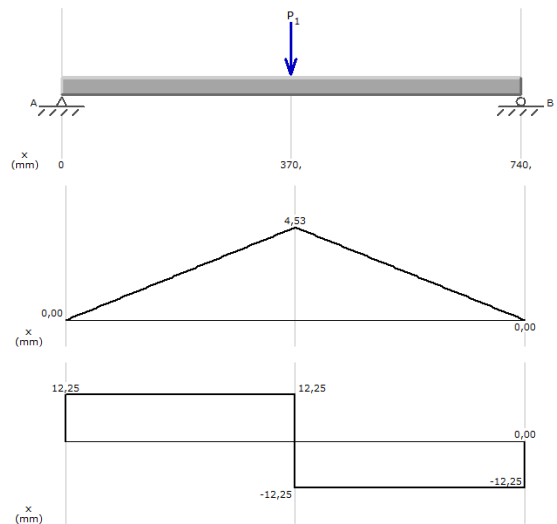


Figura 5. (diagrama de momentos y cortes) Análisis de carga en la barra de soporte transversal

Como se puede observar en la figura el momento máximo que se produce en la barra es de 4.53 [N.m]

#### Análisis de esfuerzos

La carga de 24.5 [N] solamente produce un momento flector en la barra de manera que solo se produce un esfuerzo por flexión en la misma.

#### Calculo de esfuerzos por flexión

$$T_x = \frac{M_A}{s} \tag{1}$$

En donde: MA= Momento flector con respecto al punto de apoyo A en [Nm], s = Modulo de sección en metros

cúbicos [m<sup>3</sup>]. y  $T_x$  = Esfuerzo normal por flexión en Pascales [Pa].

Calculo del módulo de sección de la barra

$$s = \frac{b \times h^2}{6} \quad (2)$$

En donde: b = longitud de la base de la sección rectangular de la barra en metros [m], h = longitud de altura de la sección rectangular de la barra en metros [m].

Dados los siguientes datos se procede a hacer el cálculo para determinar los esfuerzos por flexión a los que está sometida la barra.

$M= 4.53$  [Nm],  $b= 0.02$ [m],  $h= 0.02$ [m].

$$s=0.02 \times 0.02^2 / 6$$

$$s= 1.3 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

Ahora se procede a calcular el esfuerzo normal por flexión aplicando la ecuación (1)

$$T_x=4.53/0.00000133$$

$$T_x=3.397 \times 10^6 \text{ [Pa]}$$

Factor de seguridad

Al no producirse ningún otro esfuerzo se procede a calcular el factor de seguridad aplicando el teorema de Von Misses

$$T' = (T_x^2 - T_x * T_y + 3 * Z_{xy})^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

En donde:  $T'$  = Esfuerzo de Von Misses en pascales [Pa],  $T_x$  = Esfuerzo normal por flexión en el eje x en pascales [Pa],  $T_y$  = Esfuerzo normal por flexión en el eje y en pascales [Pa],  $Z_{xy}$  = Esfuerzo cortante por torsión en el plano xy en pascales [Pa].

Como el único esfuerzo que se produce es  $T_x$  el cálculo del esfuerzo de Von Misses adquiere el mismo valor de  $T_x$ . Entonces se tiene que:

$$T'=3.397 \times 10^6 \text{ [Pa]}.$$

Continuación se calcula el factor de seguridad para la barra analizada tomando en cuenta la resistencia a la fluencia del aluminio,  $S_y= 34$  [MPa.]

$$T'=3.398 \times 10^6 \text{ [Pa]}.$$

$$S_y=34000000 \text{ [Pa]}.$$

$$n=34000000/3.398 \times 10^6$$

$$n=10.007$$

## Simulación análisis de tensión Von Misses

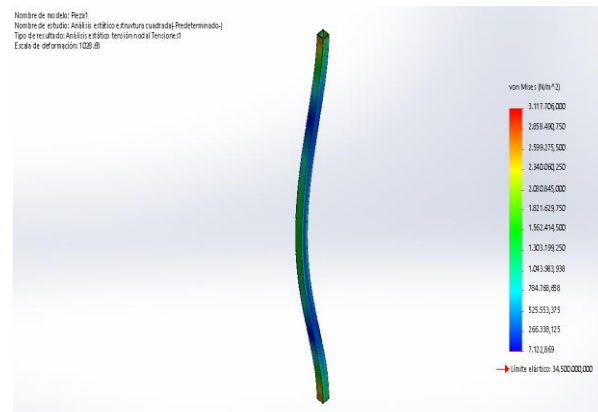


Figura. 6. Simulación de análisis de tensión de Von Misses

Se validan los resultados obtenidos en simulación con los obtenidos teóricamente.

## 2.6 Diseño electrónico del sistema de dosificación volumétrico

Para realizar el diseño de control electrónico del sistema propuesto y para tener una idea más clara del circuito de control, se hizo un análisis y selección de cada uno de los elementos que forman parte del sistema. A continuación se describen de manera general cada uno de ellos:

**Actuadores:** Indispensablemente se requiere de un actuador para realizar el movimiento de la pipeta y del dosificador tomando en cuenta los distintos tipos de movimientos que se necesita realizar, se analizó entre utilizar motores a pasos o servomotores.

**Controlador o driver:** en cualquiera de las dos opciones posibles se requerirá de un controlador que permita al usuario del sistema controlar los actuadores de acuerdo a la necesidad del sistema.

**Interfaz de control:** Este sistema requiere de una interfaz que permita al ingresar los datos de los colorantes y las cantidades de colorante que se requieren dosificar que traducido al sistema eléctrico serían las posiciones que se desean de los actuadores.

	Motor PaP	Servomotor
Circuito driver.	Simple de fácil implementación.	Su diseño es más complicado ya que el motor y driver están soldados en el mismo conjunto.
Ruido y vibración	Notable.	Muy pequeño.
Velocidad.	1000 a 2000 rpm, máximo.	3000 a 5000 rpm máximo.
Condición fuera de paso.	Posible.	No es posible.
Método de control	Lazo abierto.	Lazo cerrado.
Costo de motor y driver.	Existen variedad de drivers y motores a bajos costos.	Tienen un costo más elevado.
Ángulo de paso sencillo.	2 fases modelo PM: 7.5° (48 rpp) 2 fases modelo HB: 1.8° (200 rpp) o 0.9° (400 rpp) 5 fases modelo HB: 0.72° (500 rpp) o 0.36° (1000 rpp).	0.36° (1000 rpp) a 0.036° (10000 rpp).

Tabla2. Tabla comparativa de motores (Pachón, 2009)

Luego de revisar las características de cada uno de estos tipos de actuadores se seleccionaron los motores a paso para el movimiento de los ejes en el sistema por sus ventajas de precisión y su bajo costo.

**Actuadores: Motor a pasos (PaP)**

Los motores paso a paso son dispositivos electromecánicos que se caracterizan principalmente por su capacidad de rotar en segmentos exactos o pasos, están conformados al igual que cualquier motor por un rotor y un estator a diferencia de que estos poseen varias bobinas. Únicamente en el estator, cada bobina recibe un pulso el cual induce un campo magnético en el rotor y lo obliga a rotar un ángulo exacto, por lo cual este tipo de motores se controlan mediante dispositivos que generan un tren de pulsos sincronizado para cada bobina del estator.

Debido a su capacidad de girar en segmentos, estos motores ofrecen una gran ventaja en sistemas de posicionamiento, además fácilmente pueden ser controlados mediante un control en lazo abierto, lo cual también implica bajos costos de implementación del control.

A continuación se describen las características de cada uno de los motores seleccionados tanto para el movimiento de los ejes como para el movimiento del dosificador

Movimiento del Sistema	Motor	Tipo de Motor	Tensión de alimentación	Ángulo de paso	Torque
Movimiento eje x	KP35FM2-044	Bipolar	24 Vdc	1,8°	700 g-cm
Movimiento eje y	KP35FM2-044	Bipolar	24 Vdc	1,8°	700 g-cm
Movimiento eje z	M42SP-5	Bipolar	24 Vdc	7,5°	107 g-cm
Movimiento dosificador	28BYJ-48	Unipolar	5 Vdc	0,088°	300 g-cm

Tabla3. Tabla de características de motores

Para diseñar el controlador de cada motor se realizaron los siguientes pasos en orden: 1.- adquisición de datos: No. de pulsos / posición angular para obtener la función de transferencia de cada motor, 2.- análisis de la respuesta temporal de cada función de transferencia obtenida, 3.- análisis de estabilidad mediante criterio de Routh, 4.- cálculo de error en estado estable, 3.- análisis de respuesta del sistema ante entrada impulso y escalón unitario, 4.- método

de sintonización de Cohen-Coon para determinar el tipo de controlador.

Una vez realizados estos pasos para cada uno de los motores se determinó implementar un controlador PD para el posicionamiento de cada motor de manera que el esquema general de control se estableció de la siguiente manera para los motores utilizados en el posicionamiento de los ejes.

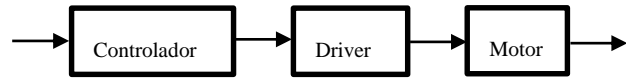


Figura 7. Diagrama de control de motores para el sistema de posicionamiento

Como ejemplo se tiene el diagrama de control para el motor del eje x:

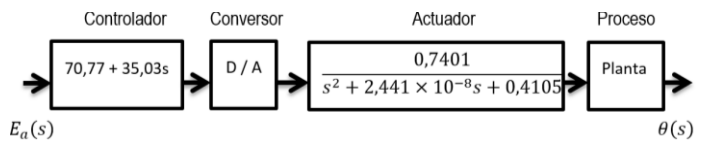


Figura 8. Diagrama de bloques del sistema de control para el motor del eje x

En el caso del motor para el dosificador se añadió un encoder para determinar la posición del vástago del mismo y de modo que se tiene el siguiente esquema de control:

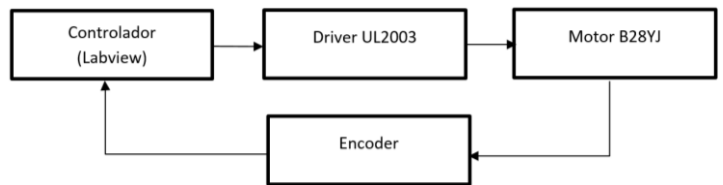


Figura 9. Diagrama de control para el motor del dosificador

Se debe tener en cuenta que aunque se utiliza un control PD realimentado desde el encoder solamente se está controlando la posición del vástago del dosificador y de esa manera se controla el volumen de líquido a dosificar de modo que aunque se tenga un control en lazo cerrado con respecto a la posición del dosificador este se convierte en un control en lazo abierto con respecto a la dosificación.

**Interfaz de control**

La interfaz de control es la herramienta que permite al usuario ingresar los datos correspondientes a los valores de dosificación de la receta. Se ha escogido el entorno Labview para desarrollar la interfaz de usuario, ya que brinda un entorno de programación gráfico, fácil de utilizar y entender.

La comunicación entre Labview y los controladores para los motores se realiza mediante la interfaz: Labview Interface For Arduino (LIFA), que permite vincular todas las funciones de Labview con los puertos de entradas y salidas que ofrece la tarjeta Arduino, es decir que se utiliza la

tarjeta arduino como una tarjeta de adquisición de datos(DAQ). (National Instruments, 2014)

Para tener una idea más clara del control electrónico para cada uno de los actuadores es necesario comprender el proceso de funcionamiento general del sistema el cual se describe en el siguiente diagrama de flujo:

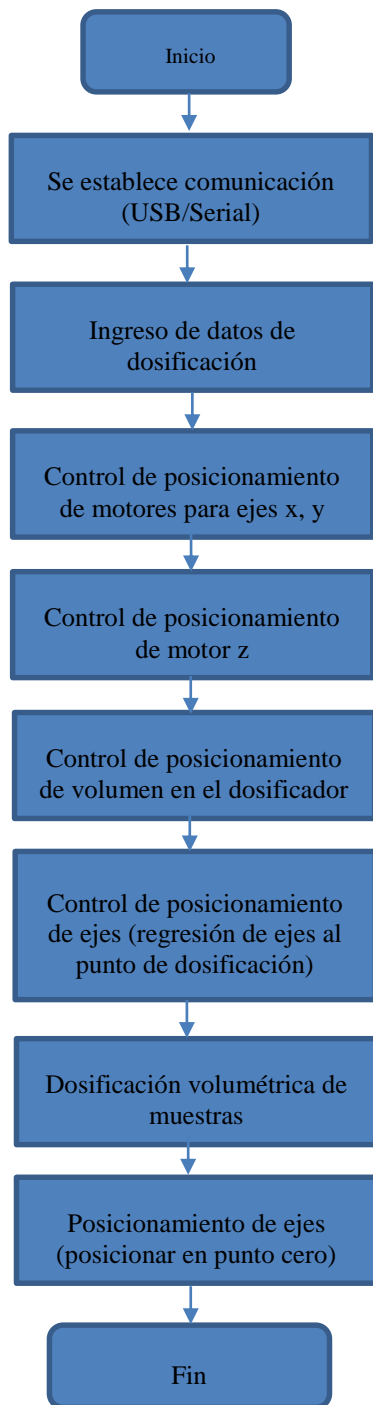


Figura 10. Diagrama de flujo de funcionamiento del control electrónico

### Drivers

Los drivers son los dispositivos electrónicos que permiten la recepción de los parámetros de control y transforman la señal de control en voltaje de funcionamiento para los motores a continuación se describen de manera general los drivers utilizados en el control de los motores del sistema.

El driver A4988 es un circuito integrado fabricado en base al Chip A4988, que permite generar en base a dos parámetros de ingreso: pulso y dirección, una señal PWM controlado y sincronizada para cada bobina del motor a pasos, únicamente se puede utilizar con motores a pasos bipolares y ofrece una ganancia de corriente de hasta 2[A] y además soporta una tensión de alimentación de motor de 8 a 35 [V] ideal para el control de motores a pasos de baja tensión.

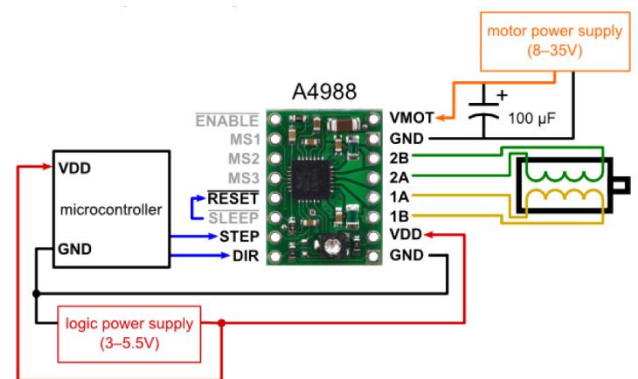


Figura 11. Esquema eléctrico de conexión de driver A4988 (Pololu, 2015)

El driver ULN2003 construido en base al circuito integrado de la misma denominación permite el control de motores a pasos unipolares de baja tensión, se utilizó para el caso del motor para el dosificador ya que este es un motor bipolar de 5 [V]. Este driver permite el control sincronizado de las bobinas del motor a pasos mediante cuatro variables de entrada las cuales corresponden a la señal PWM generada por el controlador para cada una de las bobinas del motor.

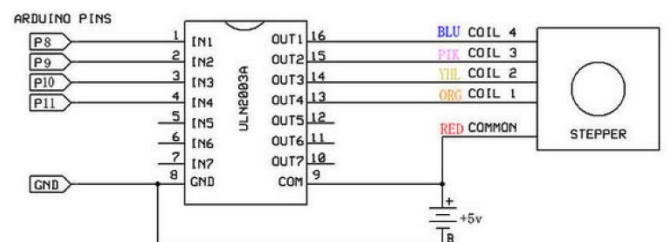


Figura 12. Esquema eléctrico de conexión de driver ULN2003 (42Bots, 2013)

### 3. Resultados

Una vez realizadas varias pruebas de funcionamiento se determinó una mejoría en los parámetros de evaluación propuestos como son precisión y tiempo de dosificación a continuación se muestran las pruebas realizadas para determinar cada uno de estos parámetros y sus respectivos resultados.

#### 3.1 Precisión de dosificación

La precisión de dosificación es un parámetro cuantificable por lo tanto puede ser evaluado con mayor facilidad, para poder cuantificar este parámetro se realizaron dos métodos de evaluación que son aplicados en laboratorios textiles para medir el rendimiento y precisión que tienen los laboristas en la dosificación, los métodos de evaluación que se aplicaran son: Comparación de patrones con el método gravimétrico y evaluación de repetitividad de mediciones.

#### Comparación de patrones con el método gravimétrico

A continuación se detalla el procedimiento de evaluación mediante este método: 1.-Definir los patrones a dosificar en unidades de volumen, 2.-Establecer las relaciones correspondientes a cada patrón en unidades de peso, 3.- Realizar las dosificaciones correspondientes a los patrones establecidos utilizando el sistema a evaluar, 4.- Realizar las mediciones correspondientes al peso de las dosificaciones realizadas por el sistema, 5.- Comparar los valores obtenidos en unidades de peso.

En la siguiente tabla se pueden observar los valores dosificados obtenidos en las pruebas y el cálculo respectivo del error en medición:

No	Valor Patron (g)	Valor medido (g)	error (g)	Porcentaje de error	porcentaje de precisión
1	0,1	0.1092	0.0092	9.20%	90.80%
		0.0907	0.0093	9.30%	90.70%
		0.1084	0.0084	8.40%	91.60%
		0.0901	0.0099	9.90%	90.10%
		0.1095	0.0095	9.50%	90.50%
2	0,5	0.5372	0.0372	7.44%	92.56%
		0.5384	0.0384	7.68%	92.32%
		0.5309	0.0309	6.18%	93.82%
		0.4882	0.0118	2.36%	97.64%
		0.4782	0.0218	4.36%	95.64%
3	1	1.0205	0.0205	2.05%	97.95%
		1.0325	0.0325	3.25%	96.75%
		0.9405	0.0595	5.95%	94.05%
		1.0325	0.0325	3.25%	96.75%
		0.9524	0.0476	4.76%	95.24%
4	2,5	2.4181	0.0819	3.28%	96.72%
		2.5913	0.0913	3.65%	96.35%
		2.4138	0.0862	3.45%	96.55%
		2.542	0.042	1.68%	98.32%
		2.4232	0.0768	3.07%	96.93%
5	5	4.8887	0.1113	2.23%	97.77%
		4.8859	0.1141	2.28%	97.72%
		5.0451	0.0451	0.90%	99.10%
		5.0451	0.0451	0.90%	99.10%
		4.9725	0.0275	0.55%	99.45%
6	8	7.8311	0.1689	2.11%	97.89%
		7.898	0.102	1.28%	98.73%
		7.9511	0.0489	0.61%	99.39%
		7.9481	0.0519	0.65%	99.35%
		8.0245	0.0245	0.31%	99.69%
<b>Total:</b>				<b>4.02%</b>	<b>95.98%</b>

**Tabla 4.**Tabla de medición de muestras y porcentajes de error de precisión

Dados estos valores se calculó el porcentaje promedio de precisión de la máquina:

Porcentaje promedio de precisión del sistema = 95,98%

Porcentaje de error promedio del sistema = 4,02%



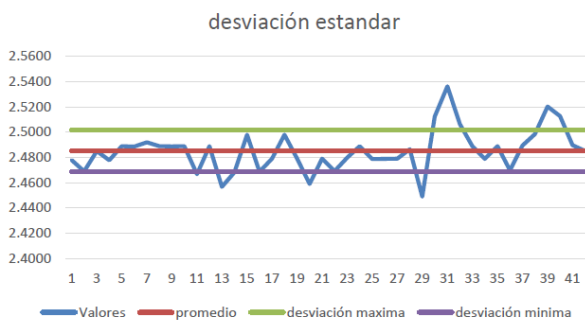
### Evaluación de repetitividad de mediciones

La repetitividad es la capacidad que se tiene para efectuar varias mediciones con igual precisión, es decir que si se realizan varias medidas con el mismo volumen en tiempos diferentes, la medición deberá ser exactamente la misma para cualquier volumen del mismo valor. El procedimiento a seguir para efectuar una evaluación por este método es el siguiente: 1.-Establecer un solo valor de un patrón, 2.- Obtención de las muestras: Efectuar varios números de dosificaciones del valor establecido como patrón único, 3.- Realizar la medida de masa de cada muestra obtenida por el sistema, 4.- Comparar que todas las muestras obtenidas con el sistema tengan el mismo valor de masa.

Para efectuar esta prueba se tomó un conjunto de 42 mediciones de patrones de 2,5 [ml.] y 42 mediciones de 5 [ml.] luego de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Promedio	2,4851
Varianza	0,0003
Desviación estándar	0,01647606
Máximo	2,5364
Mínimo	2,4489
Error máximo	0,0875

**Tabla 5.** Tabla Promedio, varianza y desviación estándar calculados para conjunto de patrones de 2.5 [ml]

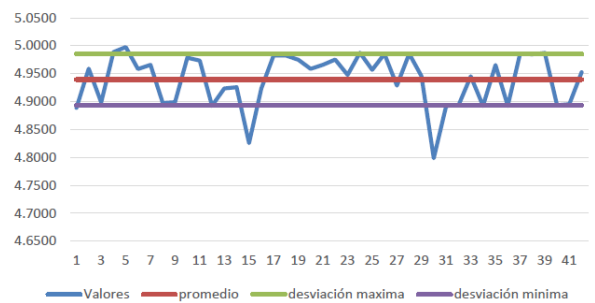


**Figura 12.** Gráfica desviación estándar para conjunto de mediciones de 2.5 [ml.]

A continuación se muestran los parámetros calculados para el patrón de 5 ml y el análisis de estos datos:

Promedio	4.9393
Varianza	0,0021
Desviación estándar	0,04572023
Máximo	4,9978
Mínimo	4,7985
Error máximo	0,1993

**Tabla 6.** Tabla Promedio, varianza y desviación estándar calculados para conjunto de patrones de 5 [ml]



**Figura 13.** Gráfica desviación estándar para conjunto de mediciones de 5 [ml.]

Una vez calculados estos datos se procede a calcular el porcentaje de repetitividad de cada uno de los conjuntos de parámetros aplicando la siguiente formula

$$\text{Porcentaje de repetitividad} = \frac{\text{Promedio datos} - \text{Desviación estándar}}{\text{Promedio datos}} \times 100\% \quad (4)$$

En los dos conjuntos de valores se obtiene un porcentaje de repetitividad de 99%.

### 3.2 Tiempo de dosificación

La rapidez con la que se preparan las recetas es también uno de los parámetros más críticos que se deben evaluar al igual que la precisión en la dosificación también es un parámetro medible y cuantificable,

El tiempo de dosificación es el tiempo que transcurre desde que se ha mandado a correr al programa y este a comenzado a ejecutarse hasta que el mismo termine de realizar todas las dosificaciones para evaluar este parámetro se han realizado varias recetas de colores en el sistema y se ha obtenido el tiempo de preparación promedio por color: en 17 colorantes dosificados el sistema tardó 16:45 minutos por lo cual el promedio de preparación por color es de: 0:50 segundos.

## 4. Conclusiones

El sistema desarrollado en este proyecto permitió incrementar la calidad del proceso, se realizaron varios ensayos con patrones diferentes en los cuales el error de precisión de dosificación osciló entre 0.01 y 0.05 [ml]. Una vez evaluados estos resultados se observa las diferencias entre el sistema propuesto y el método manual tradicional. Se pudo obtener como resultado en la fase de pruebas una velocidad de preparación por color de hasta 50 segundos como máximo y un porcentaje de precisión del 95.98% mientras en el método manual el tiempo mínimo de preparación por color es de 1 minuto 30 segundos y el porcentaje de precisión es de hasta 89% además el mismo varía de persona a persona, el sistema propuesto aumentó la precisión de dosificación un 6.98% en comparación con el proceso manual y se aumentó la rapidez del proceso en 34.44%.

Se logró realizar un diseño funcional y práctico para el sistema propuesto con la ayuda de dos softwares CAD: los cuales permitieron simular virtualmente el desempeño de la máquina y la resistencia que ofrecería la misma obteniendo buenos resultados que dieron paso a la construcción de la misma.

Se construyó el diseño del sistema propuesto el cual respondió de manera satisfactoria y permitió optimizar la distribución del espacio para los productos y así mismo aprovecha al máximo los recursos propuestos para la implementación del sistema automático de dosificación.

Se implementó un controlador digital en un CPU mediante la ayuda del software Labview el cual permitió también construir una interfaz HMI fácil de entender y operar para el usuario. Para que el sistema tenga una mayor robustez y estabilidad se recomienda utilizar un controlador industrial como un PLC que controle la máquina de forma independiente, para una futura mejora es aconsejable utilizar un CPU solo como interfaz y de esta manera independizar la etapa de control.

Se realizaron las pruebas de funcionamiento del sistema tanto en la parte mecánica como en la parte eléctrica y de control para verificar el correcto funcionamiento del sistema luego de lo cual se constató que el sistema cumple con los parámetros propuestos para la construcción del sistema tales como estabilidad mecánica y eléctrica a un costo aproximado al propuesto en el anteproyecto, y los parámetros de calidad mencionados en el objetivo principal del proyecto. Uno de los principales aspectos que quedan abiertos a mejoras es la optimización de los actuadores y el sistema de movimiento de ejes, en caso de que se requiera ampliar la capacidad del sistema sin embargo es de vital importancia calcular la corriente de alimentación para todos los motores que se ocupan en el sistema, ya que según este criterio se deberá realizar la etapa de potencia adecuada que permita una correcta transmisión de datos entre la interfaz arduino y los drivers de cada motor.

Si se requiere incrementar la precisión de la dosificación se recomienda utilizar dosificadores individuales para cada botella en lugar de una sola pipeta cambiabile, para esto se requiere reemplazar el dosificador con un brazo robótico que permite manipular los dosificadores individuales.

El presente proyecto fue diseñado para las necesidades específicas de un laboratorio textil si se desea desarrollar el proyecto de modo que sea aplicable a varios sectores es necesario incrementar el número de botellas de productos para que contenga una mayor rango de productos a su disposición para la preparación de colorantes

La mayoría de sistemas diseñados para el propósito de dosificación utilizan controladores tipo CNC, por lo cual también se recomienda implementar en un futuro un control CNC para este sistema, lo cual le permitirá también ganar una mayor precisión y velocidad al sistema.

## Agradecimientos

Un especial reconocimiento y gratitud a la Universidad Técnica del Norte, la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, y a todo el personal docente quienes han contribuido extensamente con el desarrollo de este proyecto. A la Ing. Gabriela Verdezoto y al Ing. Carlos Obando por su participación apoyo y guía en el desarrollo del presente trabajo. A todo el personal del laboratorio textil de la Fábrica Indutexma quienes cooperaron de manera directa con el desarrollo del presente proyecto.

## Referencias Bibliográficas

- 42Bots. (2013). *42Bots*. Recuperado el 2015, de 42Bots: <http://42bots.com/>
- Arduino. (2015). *Arduino*. Recuperado el 26 de Enero de 2015, de Arduino: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)
- Indutexma. (15 de Abril de 2016). *Indutexma Texties*. Obtenido de Indutexma Texties: <http://www.indutexma.com>
- Integra. (2014). *medicalexp*. Obtenido de <http://www.medicalexp.es/prod/integra-biosciences-ag/pipeteadores-mecanicos-80406-508912.html>
- Kuo, B. C. (1996). *Sistemas de Control Automático*. México: EDIMSA S.A.
- Lockuán Lavado, F. E. (2012). *LA INDUSTRIA TEXTIL Y SU CONTROL DE CALIDAD: Tintorería*. Creative

Commons Atribución-NoComercial-  
CompartirIgual 3.0 Unported.

- Mott, R. L. (2000). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico DF: Pearson.
- National Instruments. (2014). *Ni Forum*. Recuperado el 26 de Enero de 2015, de Ni Forum: [www.ni.com](http://www.ni.com)
- Ogata, k. (2010). *Ingeniería de control moderno*. Madrid: Pearson.
- Pachón, J. A. (2009). *Implementación de un Sistema Posicional con Motores Tipo Paso y Servomotores Controlados por Computadora*. Bogota: Universidad Javeriana.
- Pololu. (2015). *Pololu Robotics and Electronics*. Obtenido de Pololu Robotics and Electronics.

## Sobre los Autores...

### Pablo Marcelo Montenegro Caicedo



Nacido en la ciudad de Ibarra perteneciente a Ecuador, el 27 de Marzo de 1991. Realizó sus estudios primarios en la escuela 4 de Julio. Sus estudios secundarios los curso en la Unidad Educativa Experimental Teodoro Gómez de la Torre en la especialidad de Físico Matemático. Actualmente es egresado de la Universidad Técnica del Norte de

Ibarra-Imbabura en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en el 2015 y trabaja como planificador para el área de mantenimiento en la fábrica textil Indutexma en la ciudad de Otavalo Ecuador. Área de interés: Electrónica, automatización y control de procesos, energías renovables.

### Carlos Andrés Obando



Nació en la ciudad de Ibarra el 8 de Octubre de 1986. Realizó sus estudios secundarios en la Unidad Educativa "La Salle" donde obtuvo el título de Bachiller en la especialidad de Físico – Matemático. Culminó sus estudios en la Universidad Técnica del Norte en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en el 2011. Fue Presidente del Club de Robótica UTN

en el periodo 2009 – 2010. Actualmente es egresado de la maestría en Tecnologías para la Gestión y Práctica Docente en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y CEO en Talov Apps Studio en Ibarra. Áreas de interés: robótica, automatización industrial, PLC's, microcontroladores.