

**PROTOTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA
DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS A LAVADORAS
INDUSTRIALES EN TINTORERÍAS**

JUAN NICOLÁS MALAGÓN NAVARRO

REALIZADO CON LA DIRECCIÓN DE:
HERNANDO LEÓN

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SEPTIEMBRE, 2020

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA DE ÉNFASIS: CONTROL Y AUTOMATISMOS INDUSTRIALES

**PROTOTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA DOSIFICACIÓN
DE PRODUCTOS QUÍMICOS A LAVADORAS INDUSTRIALES EN
TINTORERÍAS**

JUAN NICOLÁS MALAGÓN NAVARRO

REALIZADO CON LA DIRECCIÓN DE:
HERNANDO LEÓN

NOTA DE SALVEDAD

Según el artículo 37 del 14 de diciembre de 1989 del acuerdo 017, "La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia".

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por su constante esfuerzo y apoyo durante todo el desarrollo del proyecto y mis estudios.

A mi compañero Alejandro Mendieta, porque, aunque ya no esté con nosotros, fue mi amigo y colega durante toda la carrera. Con él iniciamos el proyecto y por el hoy se está completando.

A mis profesores, que durante todo el desarrollo del proyecto y la carrera estuvieron prestos a responder y solucionar dudas y compartir ese conocimiento tan esencial para cada una de las etapas cursadas durante la carrera.

RESUMEN

En los procesos de tintura de textiles se emplean distintos productos químicos que, siendo utilizados en momentos específicos dentro de cada etapa y en la cantidad correcta, son los permiten cambiar de color la ropa.

Esta industria presenta un difícil acceso a tecnología en los procesos de automatización y dosificación debido a que esto representa un costo muy alto para su implementación, por esta razón se utilizan instrumentos no diseñados para estos procesos (como básculas convencionales o palas de dosificación) los cuales deben ser reemplazados con una frecuencia muy alta generando gastos innecesarios a la empresa tanto económicos como administrativos. Además, el contacto frecuente que tiene el personal con los productos químicos puede ocasionar problemas de salud a corto, mediano o largo plazo dependiendo de que tipo de contacto se tenga con los productos.

Por lo que, para este proyecto en primera medida, se definió el proceso completo de automatización que se debe implementar para que el sistema pueda realizar las etapas de dosificación de producto y tintura de ropa de manera autónoma; luego se realizó el diseño del prototipo verificando que los componentes, subsistemas y solución al problema fuese apropiada y funcional, finalmente, se realizó la implementación subsistema a subsistema realizando las pruebas tanto de componentes como de subsistemas en sí para lograr una integración completa del prototipo funcional.

De esta forma y con el prototipo implementado, se da solución al problema que tiene la empresa en la que se realizó el proyecto, suprimiendo los gastos debidos a cambios constantes de instrumentos (no diseñados para manejo de productos químicos corrosivos) y mitigando el contacto frecuente que tiene el personal encargado de operar las lavadoras industriales con los productos químicos involucrados.

Al final, el producto implementado cumple con los objetivos planteados en el proyecto y con la mayor parte de los requerimientos. Se espera que, como trabajo futuro, se pueda realizar mejoras a la implementación de los componentes y el prototipo en busca de que construido de una forma más robusta e industrial pueda se pueda garantizar por completo su funcionamiento y escalabilidad en aplicaciones de tintura de textiles.

Palabras Clave: automatización, lavadoras industriales, control, dosificación.

ABSTRACT

In the garment dyeing process are used several chemical products which, being used at times in each stage and with the appropriate amount, can modify the color of the clothes.

This industry has a difficult access to technology in the automation and dosage processes due represent a very high cost for its implementation, for this reason instruments no designed for this kind of processes are used ant they have to be replaced with a very high frequency, generating unnecessary spends in the company both economic and managing. Besides, the frequent contact of the personal with the chemical products could cause health problems in the short, medium, and long term depending on which kind of contact the people have with the products.

For this project, first, it was defined the entire process of automation that must be implemented so that the system can make the product dosage and garment dyeing stages in an autonomous way. Then the prototype design was carried out, verifying that the components, subsystems, and solution to the problem were appropriate and functional. Finally, the implementation was carried out subsystem by subsystem, testing both components and subsystems themselves to achieve a complete integration of the functional prototype.

In this way, and with the prototype implemented, a solution was made to the problem faced by the company in which the project was carried out, eliminating expenses due to constant changes of instruments and mitigating the frequent contact that the personnel in charge of operating the industrial washing machines have with the chemicals involved.

In the end, the implemented product meets the objectives set in the project and with most of the requirements. It is expected that, as future work, improvements can be made to the implementation of the components and the prototype in order that, built in a more robust and industrial way, its operation and scalability in textile dyeing applications can be fully guaranteed.

Keywords: automation, industrial washing machine, control, dosage.

Tabla de contenidos

1	INTRODUCCIÓN	1
2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
2.1	Contexto	3
2.2	Manifestación.....	4
2.3	Causas	4
2.4	Efectos.....	4
2.5	Aspectos por solucionar	5
2.6	Justificación del proyecto	5
2.7	Propuesta de solución.....	5
3	OBJETIVOS	6
3.1	General	6
3.2	Específicos.....	6
4	REQUERIMIENTOS.....	7
4.1	Funcionales	7
4.2	De calidad	8
4.3	Restictivos.....	8
5	PLAN DE PRUEBAS.....	9
5.1	Prueba 1: prueba de alimentación del sistema	9
5.2	Prueba 2: ingreso de cantidad de ropa	10
5.3	Prueba 3: entrada de agua y medición de nivel en la lavadora	12
5.4	Prueba 4: Apertura y cierre entrada de vapor y medición de temperatura ...	13
5.5	Prueba 5: Dosificación de productos sólidos.....	15
5.6	Prueba 6: Dosificación de productos líquidos	16
6	METODOLOGÍA	18
6.1	Conceptualización.....	18
6.2	Diseño.....	18
6.3	Implementación y Operación.....	18
7	RECURSOS NECESARIOS	19
7.1	Tiempo.....	19
7.2	Financiación.....	19
7.3	Recursos humanos	19
7.4	Recursos técnicos.....	19
7.5	Recursos documentales	20
8	ESTADO DEL ARTE	21

8.1	Bases teóricas.....	21
8.2	Tecnología.....	21
9	DISEÑO FUNCIONAL.....	23
9.1	Caja con entradas y salidas.....	23
9.2	Alternativa de diseño 1	24
9.3	Alternativa de diseño 2	26
9.4	Selección de alternativa	28
10	DISEÑO DETALLADO	29
10.1	Subsistema A: dosificador de productos químicos líquidos	29
10.2	Subsistema B: dosificador de productos químicos sólidos.....	35
10.3	Subsistema C: IHM y salida de agua y Vapor	41
10.4	Subsistema D: alimentación del sistema.....	49
10.5	Subsistema E: lavadora industrial	53
10.6	Esquemático del sistema.....	54
11	PLAN DE PRUEBAS DEL SISTEMA.....	55
11.1	Protocolo de pruebas	55
11.2	Planes de pruebas.....	55
12	DISEÑO INTERFAZ H/M	60
12.1	Interfaz SW	60
12.2	Interfaz H/M – Entre dispositivos.....	61
12.3	Interfaz H/M – Usuario	61
13	IMPLEMENTACIÓN	62
13.1	Subsistema A: dosificador de productos químicos líquidos	62
13.2	Subsistema B: dosificador de producto químico sólido	66
13.3	Subsistema C: IHM y salidas de agua y vapor	70
13.4	Subsistema D, alimentación	73
13.5	Subsistema E: lavadora industrial	75
13.6	Implementación del sistema:	75
14	PRUEBAS DEL SISTEMA	78
14.1	Pruebas componentes y subsistema A.....	78
14.2	Pruebas componentes y subsistema B.....	78
14.3	Pruebas componentes y subsistema C.....	79
14.4	Pruebas componentes y subsistema D	80
14.5	Integración subsistema C (IHM) y D (alimentación)	80
14.6	Integración subsistemas C (IHM), D (alimentación) y A (líquidos).....	80

14.7	Integración subsistemas C (IHM), D (alimentación), A (líquidos) y B (sólidos)	81
14.8	Integración sistema completo	82
15	AJUSTES.....	84
16	MANUALES.....	84
17	RESULTADOS.....	85
18	DISCUSIÓN.....	87
19	CONCLUSIONES	88
20	REFERENCIAS DOCUMENTALES.....	89
21	ANEXOS.....	90
21.1	Diagrama de flujo del proceso de tinturado de ropa.	91
21.2	Esquemático del sistema.....	92
21.3	Código en C++ microcontrolador principal	93
21.4	Manual de usuario.....	99

Lista de figuras

Figura 1. Dosificador de solidos DMS 50-2	22
Figura 2. Caja con entradas y salidas	23
Figura 3. Alternativa de diseño 1	24
Figura 4. Alternativa de diseño 2	26
Figura 5. Subsistema A	29
Figura 6. Subsistema A, diseño detallado	30
Figura 7. Esquemático subsistema A	34
Figura 8. Subsistema B	35
Figura 9. Diseño detallado, subsistema B	37
Figura 10. Esquemático subsistema B	40
Figura 11. Subsistema C	41
Figura 12. Diseño detallado, subsistema C	43
Figura 13. Esquemático subsistema C	48
Figura 14. Subsistema D	49
Figura 15. Subsistema D, diseño detallado	50
Figura 16. Esquemático subsistema D	52
Figura 17. Subsistema E	53
Figura 18. Interfaz H/M	60
Figura 19. Circuito electrónico subsistema A, frente.	62
Figura 20. Circuito electrónico subsistema A, parte trasera.	63
Figura 21. Celda de carga de 1kg	64
Figura 22. Tanque de producto químico Líquido	64
Figura 23. Báscula y salida de líquido	65
Figura 24. Implementación subsistema A	66
Figura 25. Circuito electrónico subsistema B, frontal	67
Figura 26. Circuito electrónico subsistema B, vista posterior	67
Figura 27. Servomotor MG995	68
Figura 28. Sensor de proximidad sólidos.	68
Figura 29. Tanque de almacenamiento sólidos	69
Figura 30. Dosificador volumétrico de sólidos.	69
Figura 31. Implementación subsistema B	70
Figura 32. Subsistema C circuito electrónico, frontal	71
Figura 33. Subsistema C, circuito electrónico, vista posterior	71
Figura 34. Termocupla tipo K	72

Figura 35. Electroválvula de 12 V DC	72
Figura 36. Sensor de nivel	73
Figura 37. Fuente conmutada de 12 V	73
Figura 38. Conversor DC – DC.....	74
Figura 39. Módulo relé de 8 canales.....	74
Figura 40. Lavadora industrial	75
Figura 41. Sistema electrónico implementado	76
Figura 42. Sistema electrónico implementado, toma 2.....	76
Figura 43. Sistema implementado.....	77
Figura 44. Sistema implementado, toma 2.....	77
Figura 45. Diagrama de flujo tinturado de ropa.....	91
Figura 46. Esquemático del sistema	92
Figura 47. Manual de usuario del sistema.....	100

Lista de tablas

Tabla 1. Plan de pruebas alimentación	10
Tabla 2. Plan de pruebas alimentación, comentarios	10
Tabla 3. Prueba 2, ingreso de ropa	11
Tabla 4. Prueba 2, ingreso de ropa, comentarios	12
Tabla 5. Prueba 3 paso de agua	13
Tabla 6. Comentarios Prueba 3, paso de agua	13
Tabla 7. Prueba 4 paso de vapor	14
Tabla 8. Comentarios prueba 4, paso de vapor	14
Tabla 9. Prueba 5, dosificación solidos	15
Tabla 10. Prueba 5, comentarios	16
Tabla 11. Prueba 6, dosificación de líquidos.....	17
Tabla 12. Comentarios prueba 6, dosificación líquidos	17
Tabla 13. Selección de componentes A1, A2 y A3	31
Tabla 14. Selección de componentes A4, A5 y A6	32
Tabla 15. Selección de componentes A7, A8 y A9	32
Tabla 16. Selección de componente A10	33
Tabla 17. Plan de pruebas, subsistema A	34
Tabla 18. Selección de componentes B1, B2 y B3	38
Tabla 19. Selección de componentes B4, B5 y B6	39
Tabla 20. Selección de componente B7	39
Tabla 21. Plan de pruebas, subsistema B	41
Tabla 22. Selección de componente C1	45
Tabla 23. Selección de componente C2	45
Tabla 24. Selección de componente C3	45
Tabla 25. Selección de componente C4	46
Tabla 26. Selección componente C5.....	47
Tabla 27. Selección de componente C6.....	47
Tabla 28. Plan de pruebas, subsistema C	48
Tabla 29. Selección de componente D1.....	51
Tabla 30. Selección de componente D2, subsistema D.....	52
Tabla 31. Plan de pruebas, subsistema D	52
Tabla 32. Pruebas componentes y subsistema A	55
Tabla 33. Plan de pruebas componentes y subsistema B	56
Tabla 34. Plan de pruebas componentes y subsistema C	57

Tabla 35. Plan de pruebas componentes y subsistema D	57
Tabla 36. Plan de pruebas, integración C y D.....	58
Tabla 37. Plan de pruebas, integración subsistemas A, C y D.....	58
Tabla 38. Plan de pruebas, integración subsistemas A, B, C y D.....	59
Tabla 39. Plan de pruebas, integración del sistema	59
Tabla 40. Ejecución de pruebas y componentes subsistema A.....	78
Tabla 41. Ejecución de pruebas componentes y subsistema B.....	78
Tabla 42. Ejecución de pruebas componentes y subsistema C.....	79
Tabla 43. Ejecución pruebas componentes y subsistema D	80
Tabla 44. Ejecución prueba de integración C y D	80
Tabla 45. Ejecución pruebas de integración C, D y A.....	81
Tabla 46. Ejecución pruebas de integración C, D, A y B.....	81
Tabla 47. Ejecución de pruebas, integración del sistema.....	82
Tabla 48. Resultados de objetivos	85
Tabla 49. Resultados de requerimientos.....	86

1 INTRODUCCIÓN

En el proceso de tintura de textiles en una microempresa se utilizan productos químicos como el ácido sulfúrico, ácido acético, soda caustica, sal industrial, peróxido de hidrógeno y otros productos como agua y vapor. La dosificación y el pesaje de estos productos en cada una de las etapas son controlados de forma manual mediante palas dosificadoras y balanzas digitales no diseñadas para este tipo de trabajo, estas tienen un ciclo de vida corto de aproximadamente cuatro meses debido a la alta corrosividad de los productos químicos, generando costos adicionales por el cambio de los instrumentos, perdiendo precisión y calidad en el proceso de tintura.

Los productos químicos utilizados en el proceso de tintura son nocivos para la salud ya que al contacto directo con ellos producen quemaduras en la piel, problemas respiratorios parecidos al asma y riesgo de contraer cáncer, afectando a los empleados que tienen contacto frecuente estos.

Con el fin de dar solución a la problemática descrita anteriormente, se diseñó, implementó y probó un prototipo de sistema automatizado para la dosificación de los productos químicos en las lavadoras industriales donde se realiza el proceso de tintura en la empresa, aplicando conceptos de control de procesos industriales.

Este proceso de automatización implica, que todo el conjunto de acciones manuales que se realizan para el tinturado de ropa negra se pueda hacer por medio de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos para evitar en la medida de lo posible el contacto humano con los productos químicos y mejorar la calidad final del producto.

A lo largo del presente documento se documenta todo el proceso de elaboración del prototipo pasando por las etapas de: definición del problema, planteamiento de objetivos, definición de requerimientos, diseño funcional, diseño detallado, plan de pruebas, implementación, ejecución del plan de pruebas, resultados, discusión y conclusiones.

En la etapa de definición del problema se explica el porqué del proyecto, cual es el contexto en el que se trabaja y cómo se debe dar la solución al problema, el cual se mencionó brevemente al principio de este capítulo.

Los objetivos del proyecto se centran en aspectos como: definir el proceso necesario para implementar un sistema automatizado de dosificación de productos químicos, diseñar, implementar y probar el prototipo y finalmente elaborar los manuales necesarios para que las personas encargadas de realizar el proceso de tintura puedan operar el sistema.

Para la definición de requerimientos, los cuales verificarán la funcionalidad y la calidad del sistema entregado, se espera que el prototipo cumpla 5 factores principales: funcionamiento, almacenaje, dosificación, una clara IHM y un correcto control del sistema. Cada uno de estos ejes abarca un punto crítico en el funcionamiento del sistema para lograr dar solución al problema que se planteó.

La segunda etapa del desarrollo del proyecto estuvo centrada en el proceso de diseño, en el diseño funcional, se realiza un primer acercamiento al sistema en cuanto a cuántos y cuales subsistemas son necesarios para garantizar un prototipo funcional y se define la responsabilidad de cada uno de ellos. Posteriormente y una vez teniendo definido el

comportamiento de cada uno de los subsistemas, continúa con la etapa de diseño detallado, aquí se aterriza el diseño funcional planteado para cada uno de los subsistemas a componentes reales que efectivamente satisfagan las tareas necesarias para el cumplimiento de los requerimientos del subsistema y que posteriormente puedan hacer parte de una integración para el funcionamiento del sistema como un todo.

Luego de la etapa de diseño, se estableció un plan de pruebas, allí se planteó la evaluación que se le realizó a los componentes, subsistemas y sistema completo, para verificar que los componentes elegidos cumplan los requerimientos y objetivos individualmente y también cuando son integrados a los subsistemas con el fin de tener un producto funcional al final del proyecto.

En la implementación se realizó la documentación de cómo se construyó el sistema pasando por cada una de las etapas y subsistemas, se documenta como se implemento el subsistema de dosificación de líquidos, el subsistema de dosificación de sólidos, el subsistema de alimentación, la IHM y cómo se hizo la integración de cada uno de los subsistemas con los demás.

Al final del proyecto y una vez realizadas las pruebas tanto a los componentes, subsistemas y sistema en general, se logra dar solución al problema inicial planteado y se implementa un prototipo funcional que permite la automatización completa del proceso de tintura de ropa cumpliendo los objetivos y la mayoría de los requerimientos planteados. Como valor agregado, el prototipo final no solo es capaz de realizar la dosificación de los productos químicos tanto líquidos como sólidos, sino que también automatiza los procesos de entrada de agua, medición de nivel interno, entrada de vapor y medición de temperatura dentro de la lavadora industrial.

Con esto no solo se suprimirán los gastos producidos por los instrumentos utilizados en el proceso, sino que se mitigará en contacto que tiene el personal que opera en el proceso con los productos químicos.

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Contexto

Las tintorerías emplean productos químicos como ácido sulfúrico, sal mineral industrial, soda cáustica, peróxido de hidrógeno, ácido acético industrial e hipoclorito de sodio en sus procesos de producción para el cambio de color de textiles.

Debido a que el desarrollo y acceso tecnológico para esta industria en Colombia representa costos muy elevados, las herramientas utilizadas para el pesaje y la dosificación de los productos no están diseñadas este tipo de procesos y deben sustituirse con una frecuencia muy alta. Cada balanza tiene un costo de \$270.000 pesos y una vida útil de 4 meses, causando un costo anual alto para la compañía. Adicionalmente, realizar el proceso de dosificación de forma manual implica un costo de 20 horas hombre semanales y la calidad del producto final (ropa tinturada) se ve afectada por la variación en cada proceso, lo que genera inconvenientes con el cliente final.

Por otro lado, la manipulación manual de estos productos es causante de enfermedades de índole respiratorio, visual y dermatológico. El ácido acético puede producir irritación en las vías respiratorias y quemaduras en la piel; el ácido sulfúrico es altamente corrosivo y produce quemaduras de alto grado al contacto, además, está catalogada como una sustancia altamente cancerígena por la IARC (International Agency for Research on Cancer); la soda cáustica, aparte de ser un producto corrosivo, produce problemas oculares, respiratorios debido al material segregado en el aire y dermatológicos por contacto con el material; el metabisulfito de sodio es causante de alergias parecidas al asma según el New Jersey Department of Health and Senior Services y figura en la lista de sustancias peligrosas citado por la IARC.

El proceso actual para tinturar la ropa de color negro es el siguiente:

Consideraciones

- Cada prenda tiene un peso promedio de 700g.

Proceso

- La ropa llega proveniente de las lavanderías que ofrecen el servicio de tintura.
- Un empleado separa la ropa por el color al cual será tinturada para luego depositarla en las lavadoras industriales en las cuales se realiza el proceso.
- El empleado selecciona los productos químicos que debe utilizar según el color final con el que quedará la ropa, para el color negro las cantidades se miden con respecto al peso total de la ropa en cada proceso y se dosifican de la siguiente forma:
 - Soda cáustica: 0.3%
 - Tinta: 6%
 - Sulfuro de sodio: 9%
 - Sal mineral industrial: 12%
 - Peróxido de hidrógeno: 0.5%
 - Ácido acético: 0.3%

Fases del tinturado

Fase 1 – Tinturado

- Se abre la llave de entrada de agua hasta que esta queda a nivel dentro de la lavadora.
- Una vez el agua está a nivel, se cierra la llave y se deposita la soda cáustica.
- Se abre la válvula de entrada de vapor para calentar el agua.
- Cuando la lavadora se encuentra a 40 grados centígrados se agregan la tinta y el sulfuro de sodio.
- Una vez la lavadora se encuentre a una temperatura de 80 grados centígrados se cierra la válvula de vapor y se deja a la máquina trabajar por 40 minutos.
- Al finalizar los 40 minutos, se abre la válvula de desagüe y se vacía la lavadora.
- Pasados 3 minutos se cierra la válvula de desagüe y se abre de nuevo la llave de entrada de agua hasta que esta vuelva a estar a nivel.

Fase 2 – Fijado de color

- Cuando el agua esté a nivel se adicionan el peróxido de hidrógeno y el ácido acético y se deja a la máquina trabajar por 15 minutos.
- Cumplido el tiempo, se abre la válvula de desagüe para que la lavadora quede sin liquido de nuevo.

Fase 3 – Enjuague

- Para asegurar que la ropa no quede con restos de productos químicos de enjuaga de nuevo, para esto se cierra la válvula de desagüe y se abre la llave de entrada de agua hasta que esté a nivel.
- Pasados 5 minutos se abre de nuevo el desagüe y la ropa ya tinturada pasa a la fase de secado.

El diagrama de flujo del proceso de tinturado se muestra en el anexo 21.1

2.2 Manifestación

El proceso no automatizado de medición y dosificación de productos químicos en los trabajos de tinte de ropa genera costos muy altos en la empresa tanto en instrumentos como de recurso humano.

2.3 Causas

- a. Costo por empleados encargados del proceso manual de tinte y compra de herramientas para pesaje y dosificación.

2.4 Efectos

- a. Las básculas y palas dosificadoras tienen un tiempo de vida útil muy corto (4 meses), lo cual genera un costo anual de \$2.200.000.
- b. Pérdida de precisión en la medida de las básculas, 10% de precisión mensual.

- c. Pérdida de hasta un 25% en la calidad final de producto entregado debido a la manipulación manual de los materiales utilizados en el proceso de producción.
- d. Costo de empleados para el proceso de dosificación, 20 horas semanales, es decir \$12.000.000 de pesos al año por empleado.

2.5 Aspectos por solucionar

- a. Costos por empleados encargados de la dosificación manual y por compra de herramientas para pesaje y dosificación en el proceso.

2.6 Justificación del proyecto

Se dará solución a la problemática generada por el proceso no automatizado de tintura de textiles, en las operaciones de dosificación y pesaje de productos químicos utilizados en las lavadoras industriales, el cual genera un costo anual cercano a los \$2.200.000 en materiales como básculas y palas dosificadoras, y de \$12.000.000 de pesos, también anual, en recurso humano.

2.7 Propuesta de solución

Diseñar, implementar y probar un prototipo de sistema automatizado para la dosificación de productos químicos a lavadoras industriales en tintorerías.

3 OBJETIVOS

3.1 General

Diseñar, implementar y probar un prototipo de sistema automatizado para la dosificación de productos químicos a lavadoras industriales en tintorerías.

3.2 Específicos

- a. Definir el proceso necesario para realizar la dosificación y pesaje de producto hacia las lavadoras industriales.
- b. Diseñar un prototipo de sistema automatizado para la dosificación de productos químicos a lavadoras industriales en tintorerías.
- c. Elaborar el plan de pruebas del prototipo de sistema automatizado para la dosificación de productos químicos a lavadoras industriales en tintorerías.
- d. Implementar un prototipo de sistema automatizado para la dosificación de productos químicos a lavadoras industriales en tintorerías.
- e. Elaborar los manuales de usuario para el uso del prototipo de sistema automatizado para la dosificación de productos químicos a lavadoras industriales en tintorerías.

4 REQUERIMIENTOS

4.1 Funcionales

FUNCIONAMIENTO

1. El sistema operará con un voltaje de 120 Vrms y a una frecuencia de 60 Hz.
2. El sistema tendrá un subsistema de acople que convertirá el voltaje AC de alimentación en un voltaje DC de 12 V, 7 V y 5 V para la operación de los subsistemas de control.

DOSIFICAR

3. El sistema tendrá un elemento que permita el paso de agua controlado por voltaje.
4. Dentro de la lavadora, debe existir un sensor que indique cuando se llegue al nivel idóneo de agua.
5. El sistema tendrá un elemento (controlado por voltaje) que permita el paso de vapor para calentar el agua dentro de la lavadora.
6. El sistema contará con un sensor dentro de la lavadora el cual indicará cuando la temperatura se encuentre a 40 y a 80 grados centígrados.
7. Para los productos sólidos, el sistema entregara dosis de producto de 100g cada una.
8. Para los productos sólidos, el sistema contará con un sensor que indica el nivel mínimo de producto en el tanque, este debe ser 1Kg.
9. Para los productos líquidos, el sistema contara con un elemento controlado por voltaje que permita o no el paso del fluido.
10. Para los productos líquidos, el sistema tendrá un subsistema que indique la cantidad exacta de producto a dosificar.

ALMACENAR

11. El sistema recibirá 6 tipos de producto distinto, 3 sólidos y 3 líquidos.
12. Cada uno de los productos se almacenará en un subsistema diferente.
13. El sistema debe almacenar 25 Kg para los productos sólidos.
14. El sistema debe almacenar 5 L para los productos líquidos.

IHM

15. El sistema recibirá la cantidad de ropa que se tinturará y este enviará la información al subsistema central de control.
16. El sistema contará con una interfaz visual para el usuario en donde se podrá observar las novedades en el proceso.
17. El sistema contará con una interfaz de entrada de datos que brinde la información necesaria para realizar el proceso de tinturado.
18. Cada subsistema contará con un sistema de alarma visual que indica su estado de funcionamiento.

CONTROLAR

19. Con la información recibida en la IHM el subsistema calculará las cantidades de cada producto para el proceso de tintura.

20. El sistema contará con un subsistema central de procesos encargado de recibir la información por parte de los demás subsistemas y actuar con respecto a lo demandado por el proceso de tintura.
21. El sistema tendrá una velocidad de procesamiento de señales de control igual o superior a los 4 MHz.
22. El subsistema tendrá un reloj encargado de controlar los tiempos en los que se dosificará cada producto.

4.2 *De calidad*

1. Para los productos químicos líquidos, las dosis entregadas por cada uno de los subsistemas tendrán una variación máxima de 5g, es decir, *cant a dosificar* $\pm 5g$
2. Para los productos químicos sólidos, las dosis entregadas por cada uno de los subsistemas deben tener una variación máxima de 100g, es decir, *cant a dosificar* $\pm 100g$.
3. El sensor de temperatura tendrá una variación máxima en la medición de 5 grados centígrados.

4.3 *Restrictivos*

1. Los productos utilizados para los procesos de tintura de ropa son corrosivos, por lo tanto, el material del sistema debe ser acero inoxidable.

5 PLAN DE PRUEBAS

En total se realizarán 6 pruebas con las que se podrá verificar el cumplimiento de los objetivos y requerimientos del sistema, a continuación, se mencionan cada una de las pruebas:

1. Prueba 1: Prueba de alimentación del sistema
2. Prueba 2: Ingreso de cantidad de ropa
3. Prueba 3: Entrada de agua y medición de nivel en la lavadora
4. Prueba 4: Apertura y cierre entrada de vapor y medición de temperatura
5. Prueba 5: Dosificación de productos sólidos para una cantidad de ropa dada
6. Prueba 6: Dosificación de productos líquidos para una cantidad de ropa dada

5.1 *Prueba 1: prueba de alimentación del sistema*

5.1.1 Objetivo de la prueba

Verificar que el equipo funcione con una fuente de alimentación AC de 110-120 Vrms, realizar una conversión a 12, 7 y 5 VDC para el funcionamiento del sistema.

5.1.2 Requerimientos para comprobar

1. El sistema operará con un voltaje de 110-120 Vrms y a una frecuencia de 60 Hz.
2. El sistema tendrá un subsistema de acople que convertirá el voltaje AC de alimentación en un voltaje DC de 12 V, 7 V y 5 V para la operación de los subsistemas de control.

5.1.3 Metodología de trabajo

1. Se debe conectar el sistema a la fuente de alimentación de 110-120 Vrms.
2. Se verificará los voltajes de salida en DC de cada una de las etapas del sistema.

5.1.4 Tabla de datos relacionados con la prueba de cada requerimiento

En la tabla 1 se presenta el formato para diligenciar cuando se realice la prueba 1.

Tabla 1. Plan de pruebas alimentación

Req	Prueba	Personal / Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
1	Medición de voltaje AC en la entrada de la fuente de poder	Estudiante / Multímetro	10 mins	110-120 Vrms	
2	Medición de voltaje DC en la salida de la fuente	Estudiante / Multímetro	10 mins	12 VDC	
3	Medición de voltaje DC a las salidas de los módulos de acople	Estudiante / Multímetro	10 mins	7 VDC, 5VDC	

5.1.5 Comentarios

En la tabla 2 se presenta el formato para diligenciar en caso de que se hayan presentado comentarios para cada uno de los requerimientos evaluados en la prueba.

Tabla 2. Plan de pruebas alimentación, comentarios

Requerimiento	Comentarios
1	
2	

5.2 Prueba 2: ingreso de cantidad de ropa

5.2.1 Objetivo de la prueba

Se probará el funcionamiento de la IHM para que el sistema le permita al usuario seleccionar la cantidad de ropa que se tinturará y, de acuerdo con la información ingresada el sistema calculará la cantidad de cada producto que se cosificará.

5.2.2 Requerimientos para comprobar

1. El sistema recibirá la cantidad de ropa que se tinturará y este enviará la información al subsistema central de control.
2. El sistema contará con una interfaz visual para el usuario en donde se podrá observar las novedades en el proceso.
3. El sistema contará con una interfaz de entrada de datos que brinde la información necesaria para realizar el proceso de tinturado.

4. Cada subsistema contará con un sistema de alarma visual que indica su estado de funcionamiento.
5. Con la información recibida en la IHM el subsistema calculará las cantidades de cada producto para el proceso de tintura.

5.2.3 Metodología de trabajo

1. Se ingresarán 3 cantidades de ropa distintas en la interfaz de entrada de datos.
2. La interfaz gráfica indicará las cantidades de ropa que se dosificarán en el proceso.
3. Se enviará la orden al sistema central de control para iniciar el proceso una vez se dé la confirmación de iniciar.

5.2.4 Tabla de datos relacionados con la prueba de cada requerimiento

En la tabla 3 se presenta el formato a diligenciar para la prueba 2.

Tabla 3. Prueba 2, ingreso de ropa

Req	Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
1, 2, 3	Ingresar los datos con cantidad de ropa para 30, 60 y 90	Estudiante / NA	10 mins	Visualización de cantidad ingresada: 30, 60 y 90	
4	Con la confirmación del proceso, el sistema indicará en la interfaz gráfica que el proceso inició	Estudiante / NA	10 mins	Visualización del mensaje: "Proceso iniciado"	
5	Visualización de las cantidades de cada producto que se utilizarán en el proceso	Estudiante / NA	40 mins	30, 60, 90 prendas: Unidades en gramos Soda: 63, 126, 189 Tinta: 1260, 2520, 3780 Sulfuro: 1890, 3780, 5670 Sal: 2520, 5040, 7560 Peróxido: 105, 210, 315 Ácido: 63, 126, 189	

5.2.5 Comentarios

En la tabla 4 se presenta el formato para diligenciar los comentarios surgidos para cada uno de los requerimientos evaluados en la prueba 2.

Tabla 4. Prueba 2, ingreso de ropa, comentarios

Requerimiento	Comentario
1	
2	
3	
4	
5	

5.3 Prueba 3: entrada de agua y medición de nivel en la lavadora

5.3.1 Objetivo de la prueba

Verificar que el sistema da o no paso de agua hacia la lavadora industrial en los tiempos indicados y que el sensor de nivel opera correctamente para accionar o no la válvula de paso de agua.

5.3.2 Requerimientos para comprobar

1. El sistema tendrá un elemento que permita el paso de agua controlado por voltaje.
2. Dentro de la lavadora, debe existir un sensor que indique cuando se llegue al nivel idóneo de agua.

5.3.3 Metodología de trabajo

1. Se realizará la verificación del funcionamiento de la válvula de paso de agua cuando no se ha enviado la orden de dar paso de agua.
2. Verificar el funcionamiento de la válvula de paso de agua cuando se envía la orden de dar paso de agua.
3. Verificar que el sensor de nivel envía la orden de interrumpir el paso de agua cuando el agua llega al nivel deseado.

5.3.4 Tabla de datos relacionados con la prueba del requerimiento

En la tabla 5 se presenta el formato a diligenciar para evaluar los requerimientos presentados en la prueba 3.

Tabla 5. Prueba 3 paso de agua

Req	Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
1	Verificar que la válvula mantiene cerrado el paso de agua mientras no se alimenta	Estudiante / NA	10 mins	No hay paso de agua hacia la lavadora	
2	Verificar que la válvula abre el paso de agua en el momento que se envía la orden desde el controlador	Estudiante / NA	10 mins	Se permite el paso de agua a la lavadora.	
3	El agua debe ingresar a la lavadora hasta que se llegue al nivel deseado	Estudiante / NA	10 mins	Cuando se llegue a nivel, el paso de agua se debe cerrar	

5.3.5 Comentarios

En la tabla 6 se presenta el formato a diligenciar en caso de que se presenten comentarios en los requerimientos evaluados durante la ejecución de la prueba 3.

Tabla 6. Comentarios Prueba 3, paso de agua

Requerimiento	Comentarios
1	
2	
3	

5.4 Prueba 4: Apertura y cierre entrada de vapor y medición de temperatura

5.4.1 Objetivo de la prueba

Verificar que el sistema da o no paso de vapor hacia la lavadora industrial en los tiempos indicados y en el rango de temperaturas que la termocupla registre en el sistema.

5.4.2 Requerimientos para comprobar

1. El sistema tendrá un elemento (controlado por voltaje) que permita el paso de vapor para calentar el agua dentro de la lavadora.
2. El sistema contará con un sensor dentro de la lavadora el cual indicará cuando la temperatura se encuentre a 40 y a 80 grados centígrados.

5.4.3 Metodología de trabajo

1. Se realizará la verificación del funcionamiento de la válvula de paso de agua cuando no se ha enviado la orden de dar paso de agua.
2. Verificar el funcionamiento de la válvula de paso de agua cuando se envía la orden de dar paso de agua.
3. Verificar que el sensor de nivel envía la orden de interrumpir el paso de agua cuando el agua llega al nivel deseado.

5.4.4 Tabla de datos relacionados con la prueba del requerimiento

En la tabla 7 se presenta el formato para diligenciar los resultados de los requerimientos evaluados durante la ejecución de la prueba 4.

Tabla 7. Prueba 4 paso de vapor

Req	Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
1	Verificar que la válvula mantiene cerrado el paso de vapor mientras no se alimenta	Estudiante / NA	10 mins	No hay paso de vapor hacia la lavadora	
2	Verificar que la válvula abre el paso de vapor en el momento que se envía la orden desde el controlador	Estudiante / NA	10 mins	Se permite el paso de vapor a la lavadora.	
3	El vapor debe ingresar a la lavadora hasta que se llegue a una temperatura de 80 grados centígrados	Estudiante / NA	10 mins	Cuando se llegue a la temperatura de 80 grados, el paso de vapor se debe cerrar	

5.4.5 Comentarios

En la tabla 8 se presenta el formato para diligenciar en caso de que se hayan presentado comentarios durante la evaluación de los requerimientos en la prueba 4.

Tabla 8. Comentarios prueba 4, paso de vapor

Requerimientos	Comentarios
1	
2	
3	

5.5 Prueba 5: Dosificación de productos sólidos

5.5.1 Objetivo de la prueba

Verificar que las cantidades de producto sólido dosificado son congruentes con la cantidad de ropa a tinturar en el sistema.

5.5.2 Requerimientos para comprobar

1. Para los productos sólidos, el sistema entregara dosis de producto de 100g cada una.
2. Para los productos sólidos, el sistema contará con un sensor que indica el nivel mínimo de producto en el tanque, este debe ser 1Kg.

5.5.3 Metodología de trabajo

1. Verificar que el sistema entrega dosis de producto sólido de 100g cada una
2. Verificar que se entrega el número de dosis correcto para cada uno de los productos sólidos del sistema.

5.5.4 Tabla de datos relacionados con la prueba del requerimiento

En la Table 9 se presentan los requerimientos a probar para verificar el funcionamiento de la dosificación de sólidos.

Tabla 9. Prueba 5, dosificación sólidos

Req	Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
1	Verificar que el sistema entrega dosis de 100g de producto sólido	Estudiante / NA	10 mins	100g producto 1, 100g producto 2, 100g producto 3	
2	Verificar que el sistema entrega la cantidad correcta de dosis para cada uno de los productos con una cantidad de ropa de 90 prendas	Estudiante / NA	10 mins	Tinta 3800g, Sulfuro 5700, Sal 7600	

5.5.5 Comentarios

En la Tabla 10 se presenta el formato para diligenciar en caso de que se hayan presentado comentarios para los requerimientos probados en la prueba 5.

Tabla 10. Prueba 5, comentarios

Requerimientos	Comentarios
1	
2	

5.6 Prueba 6: Dosificación de productos líquidos

5.6.1 Objetivo de la prueba

Verificar que las cantidades de producto líquido dosificado son congruentes con la cantidad de ropa a tinturar en el sistema.

5.6.2 Requerimientos para comprobar

1. Para los productos líquidos, el sistema contara con un elemento controlado por voltaje que permita o no el paso del fluido.
2. Para los productos líquidos, el sistema tendrá un subsistema que indique la cantidad exacta de producto a dosificar.

5.6.3 Metodología de trabajo

1. Se verificará que el sistema entrega la dosis correcta para cada uno de los productos líquidos para una cantidad de ropa de 90 prendas.

5.6.4 Tabla de datos relacionados con la prueba del requerimiento

En la Tabla 11 se presenta el formato para diligenciar la prueba de los requerimientos relacionados con la dosificación de líquidos.

Tabla 11. Prueba 6, dosificación de líquidos

Req	Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
1 y 2	Verificar que el sistema entrega dosis de correcta de cada uno de los productos líquidos	Estudiante / NA	10 mins	Soda 189g, peróxido 315g, ácido 189g	

5.6.5 Comentarios

En la tabla 12 se presenta el formato para diligenciar en caso de que se hayan presentado comentarios en los requerimientos evaluados en la prueba 6.

Tabla 12. Comentarios prueba 6, dosificación líquidos

Requerimiento	Comentarios
1	
2	

6 METODOLOGÍA

Para la metodología de desarrollo de este proyecto de ingeniería, se utilizará el esquema C.D.I.O en las que intrínsecamente están participando cada uno de los procesos necesarios para tener éxito al final del ciclo de vida del proyecto.

6.1 *Conceptualización*

En esta fase se definen el problema y la propuesta de solución del proyecto, esta fase se realizará durante las primeras 16 semanas del desarrollo del proyecto, contará con un director y un comité que se encargará de la aprobación o no del mismo.

Se debe plantear todo el proceso teórico necesario para la solución del problema.

6.2 *Diseño*

Las siguientes 16 semanas de desarrollo del proyecto estarán cubiertas por el proceso de diseño. Aquí tres fases claves brindaran las herramientas necesarias para la implementación de la solución: diseño funcional, diseño detallado y diseño industrial.

En esta fase también debe realizarse el plan de pruebas que se realizará al site, a los componentes, al subsistema y al sistema como un todo para garantizar que en el proceso de implementación todo sea funcional y que el proyecto solucione el problema planteado en la fase de conceptualización.

6.3 *Implementación y Operación*

Durante las últimas 16 semanas de desarrollo del proyecto se llevarán a cabo las fases de implementación y puesta en operación del sistema, es aquí donde se adquirirán los recursos, materiales y componentes que fueron previamente estudiados en las fases de conceptualización y diseño. En esta fase se hará la puesta en marcha del sistema y se ejecutará el plan de pruebas planeado durante las fases anteriores, se realizarán los manuales de usuario y de administrador, se realizarán las capacitaciones para el manejo del sistema, se pondrá en marcha y posteriormente se realizará la entrega formal del mismo.

7 RECURSOS NECESARIOS

7.1 Tiempo

El tiempo definido para el desarrollo completo del proyecto es de 48 semanas, cada una con una disponibilidad de al menos 10 horas/hombre, para este caso, al ser dos integrantes se trabajarán 20 horas semanales dando un total de 960 horas para la ejecución del proyecto.

El proyecto está segmentado en 3 grandes bloques para su desarrollo: la primera fase es la de conceptualización, la cual tiene una duración de 16 semanas y es en la cual se define el problema y requerimientos del proyecto. La segunda comprende todos los conceptos de diseño del prototipo, esta, al igual que la anterior tiene un tiempo de duración de 16 semanas. La tercera y última fase comprende las tareas de implementación y operación del sistema, al igual que las dos anteriores, tiene una duración de 16 semanas.

La suma de estas grandes fases entrega una duración total del proyecto de 48 semanas como se mencionó al principio del numeral.

7.2 Financiación

El proyecto será financiado por la empresa en la que se desarrollará el proyecto, con el fin de que el producto entregado sea funcional y cumpla los requerimientos y objetivos planteados en los capítulos anteriores.

7.3 Recursos humanos

Para el desarrollo del proyecto se cuenta con dos estudiantes de ingeniería electrónica encargados de las fases de conceptualización, diseño, implementación y operación del sistema. Dirigidos por 4 docentes, uno que estará transversalmente durante todo el desarrollo del proyecto y tiene la tarea de dirigir y guiar a los estudiantes durante el desarrollo. Los demás tienen una participación parcial en el proyecto: uno en la fase de conceptualización, el segundo en la fase de diseño y el tercero en la fase de implementación y operación del sistema.

7.4 Recursos técnicos

Para dar solución a la problemática planteada es necesario tener conocimientos en electrónica, mecánica y control, por eso es necesario que los estudiantes encargados del desarrollo del proyecto tengan presentes los conceptos aprendidos durante los cursos de la carrera de ingeniería electrónica.

7.5 Recursos documentales

Para el desarrollo del proyecto se utilizarán distintos componentes electrónicos, estos elementos tienen distintas características y comportamientos de acuerdo con la aplicación que vayan a tener, por lo que es necesario contar con las hojas de datos de los componentes y los instrumentos y así garantizar que la selección de los materiales para la solución del proyecto sea la adecuada.

8 ESTADO DEL ARTE

8.1 Bases teóricas

Dosificación industrial: la tecnología de dosificación permite distribuir la materia prima en cantidades y secuencias temporales exactas. A través de los diferentes sistemas de dosificación los productos sólidos o líquidos son tratados durante todo el proceso de fabricación.

Sistemas de dosificación industrial: Aunque cada industria tiene unas necesidades muy específicas dependiendo del material que utilice y necesite dosificar, a rasgos generales se puede diferenciar los sistemas de dosificación industrial de líquidos y los sistemas de dosificación industrial de sólidos. El funcionamiento de estos sistemas es distinto pero el objetivo es el mismo: pesar y medir las cantidades para poder optimizar la producción y la calidad del producto.

Tipos de dosificadores industriales:

- Dosificadores gravimétricos: funcionan basándose en la pérdida de una cantidad de peso concreta en un espacio de tiempo concreto. Por lo tanto, no utilizan una base como referencia para calibrar el caudal de dosificación.
- Dosificadores volumétricos: no miden la masa, sino que funcionan basados en el volumen por lo que se tendrán que calibrar antes de cada uso. Además, estos dosificadores no son capaces de compensar de forma automática los cambios en la densidad de la materia.

8.2 Tecnología

Sistemas dosificadores de sólidos: Cuando se habla de los dosificadores de sólidos, se refiere a aquel sistema de dosificación que nos permite tratar productos sólidos, por ejemplo, en polvo, granulados, etc.

Realizar el trabajo de dosificación de forma manual puede llevar a una gran pérdida de tiempo y sobre esfuerzo totalmente innecesario, por lo que en este proyecto de grado se optara por la automatización de un sistema para dosificar sólidos.

A continuación, se muestra un dosificador de sólidos desarrollado por la empresa MCR:

- DMS 50-2/1280-800: es un equipo compacto y móvil, ya que todo el conjunto descansa sobre un carro móvil de 1280mm de longitud y 800mm de anchura. El conjunto está formado por una tolva de 50L, un removedor interior, un husillo elevador y una báscula de pesaje. El producto se transporta desde la tolva a la salida por una serie de conductos de 2". El transporte del producto se realiza mediante un husillo.

Contiene un sensor de seguridad para detectar si se extrae el filtro de la tolva. Si esta operación se realiza durante el funcionamiento de la máquina, se activa el sensor y el dosificador se para automáticamente.

La Figura 1 (imagen tomada de <https://www.mcr.es/>) muestra el equipo de dosificación de sólidos DMS 50-2 de la empresa MCS.



Figura 1. Dosificador de sólidos DMS 50-2

Principio de funcionamiento: el DMS 50-2 / 1280-800 es un equipo compacto y móvil, ya que todo el conjunto descansa sobre un carro móvil de 1280 mm de longitud y 800 mm de ancho. El conjunto está formado por una tolva o tanque de 50 L, un removedor interior, un husillo o embolo elevador y una báscula de pesaje. El producto se transporta desde el tanque a la salida por una serie de conductos de 2". El transporte del producto se realiza mediante el embolo.

Contiene un sensor de seguridad para detectar se extrae el filtro del tanque. Si esta operación se realiza durante el funcionamiento de la máquina, se activa el sensor y el dosificador se para automáticamente.

9 DISEÑO FUNCIONAL

9.1 Caja con entradas y salidas

La Figura 2 muestra la caja con entradas y salidas del sistema completo.

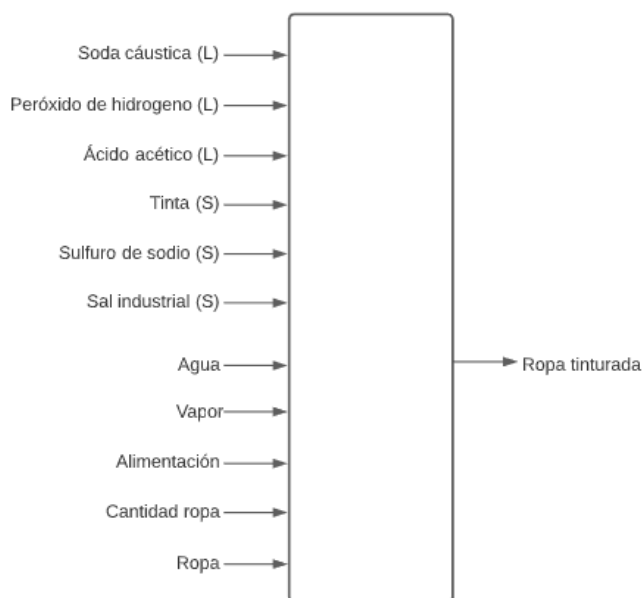


Figura 2. Caja con entradas y salidas

El sistema cuenta con 6 entradas asignadas para los productos químicos, de los cuales 3 son sólidos (tinta, sulfuro de sodio y sal industrial) y 3 son líquidos (soda cáustica, peróxido de hidrogeno y ácido acético). Estos son los productos que se dosificarán durante las diferentes etapas del proceso de tintura.

Además, el sistema tiene una entrada de agua y vapor, los cuales entran directamente a la lavadora en las diferentes fases del proceso. La etapa de alimentación es otra entrada y está encargada de poner en funcionamiento la componente electrónica del sistema.

Finalmente, la IHM tiene dos entradas: la primera es la ropa en sí que se desea tinturar y la segunda hace relación a la cantidad de ropa que se ingresó a la lavadora, con esta información el sistema podrá calcular las cantidades de cada producto que se dosificarán.

9.2 Alternativa de diseño 1

En la Figura 3 se presenta la alternativa de diseño 1 para el sistema completo.

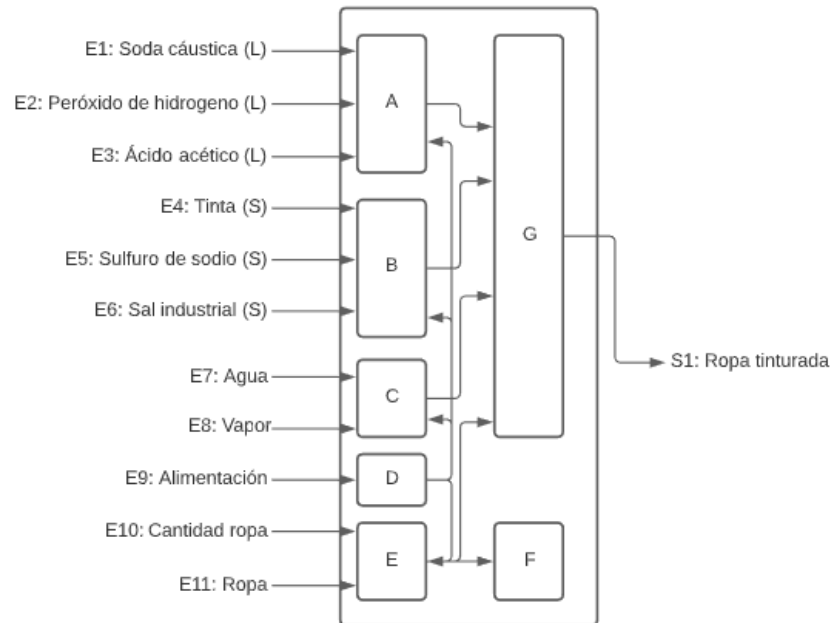


Figura 3. Alternativa de diseño 1

9.2.1 Nombre de las señales entre cajas

- E1: Soda cáustica líquida.
- E2: Peróxido de hidrógeno líquido.
- E3: Ácido acético líquido.
- E4: Tinta solida granulada.
- E5: Sulfuro de sodio solido en escamas.
- E6: Sal industrial solida granulada.
- E7: Agua.
- E8: Vapor.
- E9: Fuente de alimentación.
- E10: Cantidad de ropa.
- E11: Ropa a tinturar.

9.2.2 Funciones de cada subsistema

a. Subsistema A

Este subsistema se encarga del almacenamiento y dosificación de los productos químicos líquidos que se necesitarán para el proceso de tintura de ropa.

b. Subsistema B

Este subsistema se encarga del almacenamiento y dosificación de los productos químicos sólidos que se necesitarán en el proceso de tintura de ropa.

c. Subsistema C

Es el encargado de controlar y operar el paso de agua y vapor hacia la lavadora.

d. Subsistema D

Encargado de recibir el voltaje y realizar los acoples de potencia para el funcionamiento de los demás subsistemas.

e. Subsistema E

IHM del sistema, aquí es donde el usuario tiene interacción directa con el equipo, aquí se ingresa la cantidad de ropa que se tinturará para que de esa forma el sistema pueda calcular y enviar las diferentes órdenes a los subsistemas para la dosificación y control de los productos químicos.

f. Subsistema F

Reloj, para los procesos de tintura es necesario realizar la dosificación de los productos químicos en distintos momentos, por tal motivo y para asegurar un producto de alta calidad se utilizará un subsistema de reloj que controle con exactitud y precisión los tiempos en el proceso.

g. Subsistema G

Lavadora industrial, aunque este subsistema ya existe, es necesario incluirlo en el diseño ya que el sistema estará interactuando en todo momento con ella y se debe modificar su estructura para realizar la integración con el prototipo.

9.3 Alternativa de diseño 2

En la Figura 4 se presenta la alternativa de diseño 2 para el sistema completo.

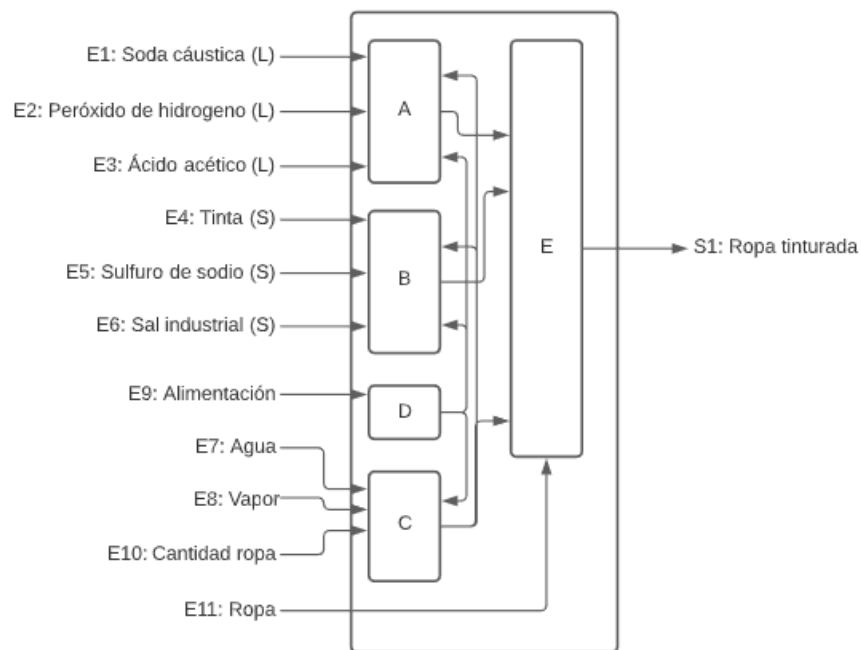


Figura 4. Alternativa de diseño 2

9.3.1 Nombre de señales entre cajas

- E1: Soda cáustica líquida.
- E2: Peróxido de hidrógeno líquido.
- E3: Ácido acético líquido.
- E4: Tinta solida granulada.
- E5: Sulfuro de sodio solido en escamas.
- E6: Sal industrial solida granulada.

E7: Agua.

E8: Vapor.

E9: Fuente de alimentación.

E10: Cantidad de ropa.

E11: Ropa a tinturar.

9.3.2 Funciones de cada subsistema

a. Subsistema A

Este subsistema se encarga del almacenamiento y dosificación de los productos químicos líquidos que se necesitarán para el proceso de tintura de ropa.

b. Subsistema B

Este subsistema se encarga del almacenamiento y dosificación de los productos químicos sólidos que se necesitarán para el proceso de tintura de ropa.

c. Subsistema C

El subsistema C está encargado de controlar el paso de agua y vapor hacia la lavadora industrial. También integra la IHM que es donde el usuario podrá visualizar el proceso que se está realizando e ingresar el valor de cantidad de ropa que se utilizará para calcular los productos químicos a utilizar.

También cuenta con un reloj que determinará los tiempos en los que cada uno de los procesos se realizará y se comunicará con los subsistemas A y B para regular el proceso de dosificación de cada uno de estos subsistemas.

d. Subsistema D

Encargado de recibir el voltaje y realizar los acoples de potencia para el funcionamiento de los demás subsistemas.

e. Subsistema E

Lavadora industrial, aunque este subsistema ya existe, es necesario incluirlo en el diseño ya que el sistema estará interactuando en todo momento con ella y se debe modificar su estructura para realizar la integración con el prototipo.

9.4 Selección de alternativa

Aunque los dos subsistemas cumplen con los requerimientos indicados en capítulos anteriores, el subsistema 1 presenta una complejidad mayor al contener más subsistemas que el subsistema 2, por tal motivo, se trabajará con la **alternativa de diseño número 2**, con esta se tiene un diseño menos complejo, pero que cumplirá en su totalidad los objetivos y requerimientos que el sistema demanda para solucionar el problema mencionado al inicio del documento.

10 DISEÑO DETALLADO

10.1 Subsistema A: dosificador de productos químicos líquidos

En la Figura 5 se presenta el diseño para el subsistema de dosificación de productos líquidos.

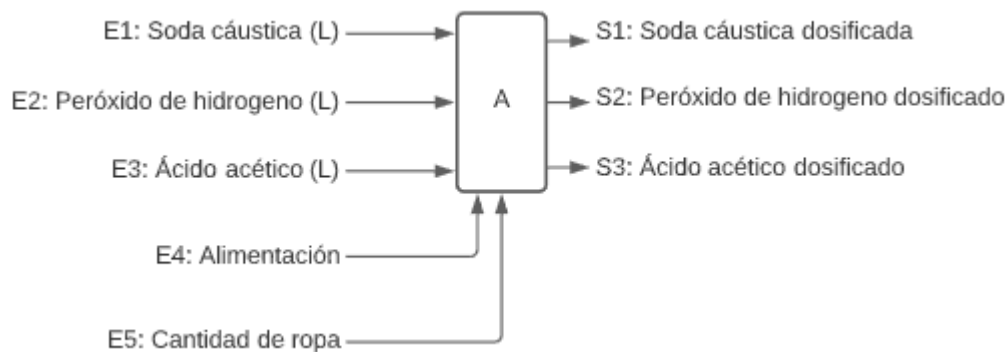


Figura 5. Subsistema A

El subsistema A corresponde al dosificador de productos líquidos del sistema, este se encarga de almacenar, controlar y dosificar cada uno de los productos químicos líquidos que se utilizan en el proceso de tintura de ropa.

Entradas:

- E1: Soda cáustica líquida.
- E2: Peróxido de hidrógeno.
- E3: Ácido acético.
- E4: Alimentación.
- E5: Cantidad de ropa.

Salidas:

- S1: Soda cáustica dosificada.
- S2: Peróxido de hidrógeno dosificado.
- S3: Ácido acético dosificado.

10.1.1 Requerimientos de subsistemas

Requerimientos funcionales

1. Para cada tanque, se debe almacenar un máximo de 5kg (5000 centímetros cúbicos) de producto químico.
2. El subsistema debe calcular la dosis a entregar de cada producto de acuerdo con la cantidad de ropa ingresada.
3. El subsistema debe dosificar adecuadamente cada producto de acuerdo con la cantidad de ropa ingresada.
4. El subsistema tendrá un sistema de alarma cuando en el tanque haya una cantidad menor a 500g de producto.

Requerimientos de calidad

1. El cálculo de las dosis que se deben entregar no debe tener una variación mayor a un gramo, es decir, *Dosis calculada* $\pm 1g$
2. La dosis suministrada de cada producto no tendrá una variación mayor a 5g de la que se calculó de acuerdo con la cantidad de ropa que se tinturará, es decir, *Dosis calculada* $\pm 5g$
3. El nivel mínimo de producto en el tanque no tendrá una variación mayor o menor a 20g, es decir, $500g \pm 20g$

Requerimientos de restricción

1. Los productos químicos líquidos en el proceso son corrosivos, se deben usar materiales como: acero inoxidable, plástico y acrílico para su implementación.

10.1.2 Funciones, entradas y salidas subsistema A

En la Figura 6 se presenta el diseño detallado para el subsistema de dosificación de productos líquidos.

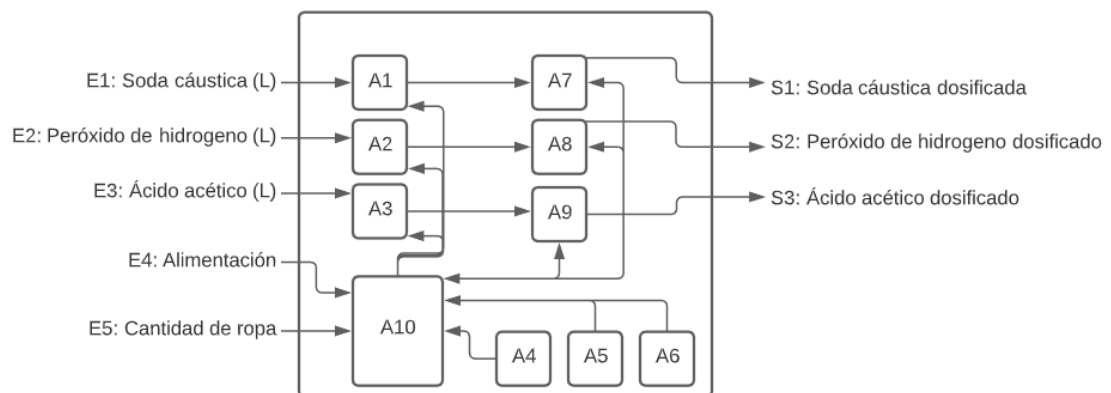


Figura 6. Subsistema A, diseño detallado

El subsistema A corresponde al dosificador de producto del sistema, este se encarga de almacenar, controlar y dosificar cada uno de los productos químicos líquidos que se utilizan en el proceso de tintura de ropa.

A1, A2 y A3 corresponden a los tanques de almacenamiento de producto, el producto sale de los tanques hacia los subsistemas **A7, A8 Y A9** a través de una válvula controlada por voltaje en cada uno. **A10** envía la orden de apertura y cierre de la válvula.

Los bloques **A4, A5 Y A6** corresponden los medidores de nivel dentro de los tanques, una vez el nivel no se encuentre en un valor adecuado, envían una señal al bloque **A10** para que esté tome acción al respecto y detenga el proceso de dosificación.

Los bloques **A7, A8 y A9** corresponden a los medidores de producto que se entregará a la lavadora en el proceso de tintura, como entrada reciben el producto desde los bloques **A1, A2 y A3**, registran y transmiten la cantidad recibida hacia el bloque **A10** y este, cuando se llegue a la cantidad de producto deseada da la orden de dosificar el producto hacia la lavadora industrial.

El bloque **A10** se encarga del control del subsistema, como se ha mencionado en párrafos anteriores, este recibe información desde los demás bloques internos y toma decisiones frente a la cantidad de ropa que se va a tinturar y el tiempo de ejecución del proceso.

10.1.3 Diseño del subsistema A

Subsistema A, componentes A1, A2 y A3

Requerimientos del componente

- Voltaje de alimentación 12VDC
- Material: cobre, acero inoxidable o plástico PVC

En la Tabla 13 se presenta el formato con los componentes que cumplen los requerimientos para la selección de los dispositivos de los subsistemas A1, A2 y A3.

Tabla 13. Selección de componentes A1, A2 y A3

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Válvula solenoide plástica	Válvula solenoide en cobre	Válvula solenoide en acero inoxidable
Voltaje de alimentación 12V	12 V	12 V	12 V
Material	Plástico	Cobre	Acero inoxidable

Subsistema A, componentes A4, A5 y A6

Requerimientos del componente

- Voltaje de alimentación 5VDC

En la Tabla 14 se presenta el formato con los componentes que cumplen los requerimientos para la selección de los dispositivos de los subsistemas A4, A5 y A6.

Tabla 14. Selección de componentes A4, A5 y A6

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Leds infrarrojos de emisión y recepción	Sensor de nivel flotador en acero	Sensor de nivel flotador plástico
Voltaje de alimentación: 5V	5 V	5 V	5 V

Para la medición de nivel en el tanque se utilizará el sensor de nivel tipo flotador en acero, este presenta un mejor comportamiento frente a la durabilidad del producto.

Subsistema A, componentes A7, A8 y A9

Requerimientos del componente

- Voltaje de alimentación 5VDC
- Precisión de medida 1g

En la Tabla 15 se presenta el formato con los componentes que cumplen los requerimientos para la selección de los dispositivos de los subsistemas A7, A8 y A9.

Tabla 15. Selección de componentes A7, A8 y A9

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Resistencia sensible al peso redonda	Celda de carga 1kg	Sensor de nivel continuo FM-50
Voltaje de alimentación: 5V	5 V	5 V	5 V
Precisión de medida 1g	2g	0.1g	1mm

Aunque el sensor de nivel continuo es el que mejor precisión tiene, la celda de carga tiene una mejor relación costo / beneficio, por lo que para el subsistema se trabajará con las celdas de carga.

Subsistema A, componente A10

Requerimientos del componente:

- Voltaje de alimentación 5 – 12 VDC
- 9 pines I/O
- Conversor ADC
- Memoria flash 32 Kb
- Memoria RAM o SRAM: 2kB
- Velocidad de reloj: 16 MHz

En la Tabla 13 se presenta el formato con los componentes que cumplen los requerimientos para la selección del dispositivo del subsistema A10.

Tabla 16. Selección de componente A10

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Mega 32U4	PIC18F2550	ARM Cortex A7
Voltaje de alimentación: 5- 12 V	5 – 12 V	5 V	5 V
Pines I/O	20	35	40
Conversor ADC	Sí	Sí	Sí
Memoria Flash	32 kB	32 kB	SD
Memoria RAM	2kB	2kB	1 GB
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	1.4 GHz

De acuerdo con los requerimientos levantados, se decidió trabajar con el microcontrolador MEGA 32U4 quien cumple con los objetivos y requerimientos y además presenta un gran comportamiento en la relación costo / beneficio.

10.1.4 Diagrama esquemático de subsistema A

La Figura 7 muestra el esquemático de conexión del subsistema A, dosificador de productos químicos líquidos.

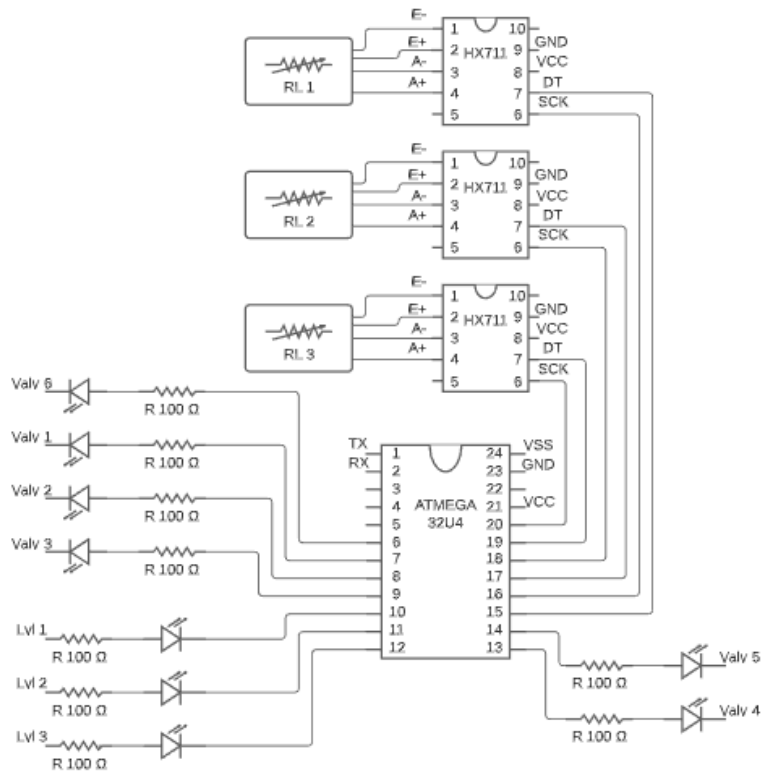


Figura 7. Esquemático subsistema A

10.1.5 Plan de pruebas del subsistema A

En la Tabla 17 se presenta el formato a diligenciar para realizar las pruebas de funcionamiento al subsistema A, dosificador de productos químicos líquidos.

Tabla 17. Plan de pruebas, subsistema A

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Sensor de nivel del tanque.	Estudiante / NA	10 mins	El LED está apagado mientras el nivel en el tanque es superior a 500g. El led enciende cuando el nivel de líquido en el tanque es inferior a 500g.	
Apertura y cierre válvula de salida del tanque	Estudiante / NA	10 mins	La válvula se abrirá por 2 minutos y luego de pasado el tiempo debe cerrarse.	

Accionar válvula de salida del tanque por medio de un peso alcanzado y registrado en la báscula	Estudiante / NA	10 mins	La válvula de salida del tanque se debe abrir hasta que la báscula registre un peso de 500g.	
Accionar válvula de entrada a la lavadora ordenada por la báscula	Estudiante / NA	10 mins	La válvula de entrada de líquido a la lavadora debe abrirse si el peso en la báscula es igual o superior a 100g.	

10.2 Subsistema B: dosificador de productos químicos sólidos

En la Figura 8 se presenta el diseño para el subsistema de dosificación de productos químicos sólidos.

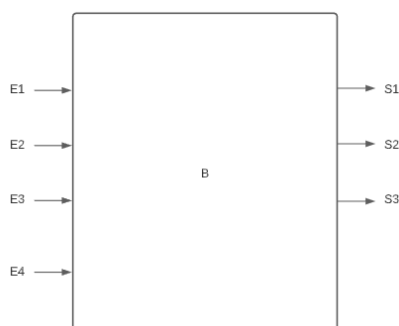


Figura 8. Subsistema B

El subsistema B corresponde al dosificador de productos sólidos del sistema, este se encarga de almacenar, controlar y dosificar cada uno de los productos químicos sólidos que se utilizan en el proceso de tintura de ropa.

Entradas:

E1: Tinta negra.

E2: Sal industrial mineral.

E3: Sulfuro de sodio.

E4: Cantidad de ropa.

Salidas:

- S1: Tinta negra dosificada.
- S2: Sal industrial dosificada.
- S3: Sulfuro de sodio dosificado.

10.2.1 Requerimientos del subsistema B

Requerimientos funcionales

1. Para cada tanque, se debe almacenar un máximo de 30kg de producto químico.
2. El subsistema debe calcular la dosis a entregar de cada producto de acuerdo con la cantidad de ropa ingresada.
3. El subsistema debe dosificar adecuadamente cada producto de acuerdo con la cantidad de ropa ingresada.
4. El subsistema tendrá un sistema de alarma cuando en el tanque que almacena tinta haya una cantidad menor a 4kg de producto.
5. El subsistema tendrá un sistema de alarma cuando en el tanque que almacena sal industrial haya una cantidad menor a 8kg de producto.
6. El subsistema tendrá un sistema de alarma cuando en el tanque que almacena sulfuro de sodio haya una cantidad menor a 6kg de producto.

Requerimientos de calidad

1. El cálculo de las dosis que se deben entregar no debe tener una variación mayor a un gramo, es decir, *Dosis calculada* $\pm 1g$
2. La dosis suministrada de cada producto no tendrá una variación mayor a 50g de la que se calculó de acuerdo con la cantidad de ropa que se tinturará, es decir, *Dosis calculada* $\pm 50g$
3. El nivel mínimo de producto en el tanque no tendrá una variación mayor o menor a 1kg, es decir, *30kg* $\pm 1kg$

Requerimientos de restricción

1. Los productos químicos líquidos en el proceso son corrosivos, se deben usar materiales como: acero inoxidable, plástico y acrílico para su implementación.

10.2.2 Funciones, entradas y salidas subsistema B

En la Figura 9 se presenta el diseño detallado para el subsistema de dosificación de productos químicos sólidos

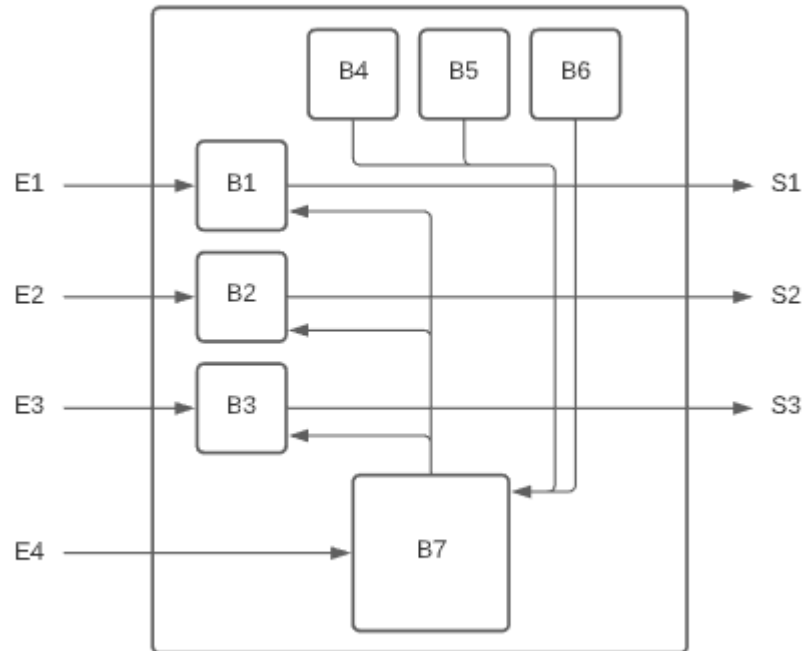


Figura 9. Diseño detallado, subsistema B

El subsistema B está encargado de la dosificación de productos químicos sólidos a la lavadora industrial, además de recibir los productos químicos en sí, también recibe la cantidad de ropa que entrará al proceso de tintura y calcula las cantidades a dosificar.

a. Bloques B1, B2 y B3

La dosificación que realizará este subsistema es volumétrica, la cual se definió en el capítulo de estado del arte. Los bloques B1, B2 y B3 hacen referencia a los motores que girarán el vaso donde entrará la dosis de producto.

b. Bloques B4, B5 y B6

Estos bloques hacen referencia a la medición de nivel en los tanques de producto, cuando el nivel en el tanque sea inferior al configurado, estos enviarán una señal al bloque B7 para que este tome las decisiones pertinentes antes, durante o después del proceso.

c. Bloque B7

Este bloque es el controlador del subsistema, se encarga de administrar, calcular y dosificar el producto químico en cada proceso, para hacerlo envía y recibe señales por parte de los demás subsistemas para tomar decisiones frente a lo que se debe hacer para garantizar que el funcionamiento del subsistema sea el adecuado.

Además, recibe por parte del usuario la cantidad de ropa que se tinturará y en base a esta información calcula la cantidad de producto sólido que se utilizará en el proceso.

10.2.3 Diseño del subsistema B

Subsistema B, componentes B1, B2 y B3

Requerimientos de los componentes:

- Voltaje de operación 12V
- Corriente de operación menor a 3A
- Ángulo de paso: 2 grados
- Torque mayor a 4 kg/cm

En la tabla 18 se presenta el formato para la selección de los componentes B1, B2 y B3 pertenecientes al subsistema B.

Tabla 18. Selección de componentes B1, B2 y B3

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Motor paso a paso 57STH56	Servomotor AX MEC_0497	Servomotor MG995
Voltaje de operación: 12 V	24 v	12 V	7 V
Corriente de operación	2.5 A	0.9 A	2.5 A Max
Ángulo de paso	1.8 grados	Ajustable	NA
Torque	12,2 kg/cm	15,3 kg/cm	12.5 kg / cm

Los 3 motores cumplen con la mayoría de los requerimientos solicitados, sin embargo, el servomotor MG995 se ajusta más a las necesidades que se tienen y tiene un precio más económico que sus compañeros, por esta razón se decidió trabajar con él.

Subsistema B, componentes B4, B5 y B6

Requerimientos de los componentes:

- Voltaje de operación 5V

En la Tabla 19 se presenta el formato para la selección de los componentes B4, B5 y B6 pertenecientes al subsistema B.

Tabla 19. Selección de componentes B4, B5 y B6

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Sensor de proximidad LJC18A3	Diodo LED infrarrojo, emisor y receptor	Resistencia sensible al peso
Voltaje de operación: 5V	5 – 30 V	3.3 V	NA, es una resistencia

Estos componentes tienen la función de indicar en el momento que el producto químico dentro del tanque sea inferior a un nivel de referencia, la resistencia sensible al peso es más compleja de implementar que las otras dos alternativas, por este motivo se descarta.

Los diodos infrarrojos son muy débiles y ante pesos de 3 kg en adelante pueden sufrir daños y quedar obsoletos en un plazo de tiempo muy corto, por lo que se trabajará con el sensor de proximidad capacitivo.

Sistema B, componente B7

Requerimientos del componente:

- Voltaje de alimentación 5 – 12 VDC
- 9 pines I/O
- Memoria flash 32 Kb
- Memoria RAM o SRAM: 2kB
- Velocidad de reloj: 16 MHz

En la Tabla 20 se presenta el formato para la selección del componente B7 perteneciente al subsistema B.

Tabla 20. Selección de componente B7

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Mega 32U4	PIC18F2550	ARM Cortex A7
Voltaje de alimentación: 5- 12 V	5 – 12 V	5 V	5 V
Pines I/O	20	35	40
Memoria Flash	32 kB	32 kB	SD
Memoria RAM	2kB	2kB	1 GB
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	1.4 GHz

De acuerdo con los requerimientos levantados, se decidió trabajar con el microcontrolador MEGA 32U4 quien cumple con los objetivos y requerimientos y además presenta un gran comportamiento en la relación costo / beneficio.

10.2.4 Diagrama esquemático de subsistema B

La Figura 10 presenta el esquemático diseñado para el subsistema B.

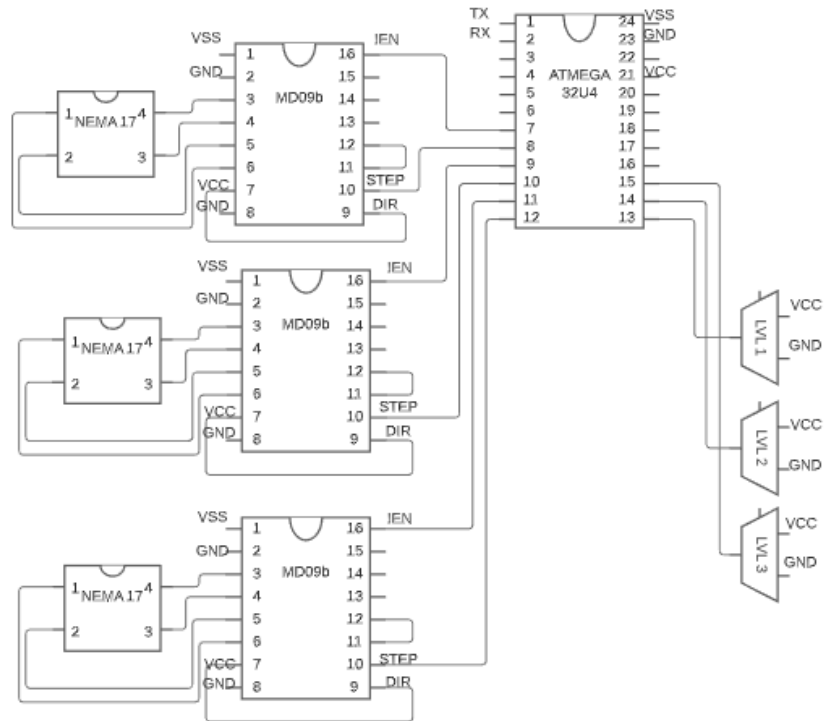


Figura 10. Esquemático subsistema B

10.2.5 Plan de pruebas del subsistema B

La Tabla 21 presenta el formato a diligenciar para evaluar el funcionamiento del subsistema B.

Tabla 21. Plan de pruebas, subsistema B

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Sensor de nivel del tanque.	Estudiante / NA	10 mins	El LED está apagado mientras el nivel en el tanque es superior a 5kg. El led enciende cuando el nivel de líquido en el tanque es inferior a 5kg.	
Giro de 180 grados del motor de cada uno de los tanques	Estudiante / NA	10 mins	El motor de cada uno de los tanques deberá realizar un giro de 180 grados.	
Giro de motor para una cantidad de producto de 90 prendas	Estudiante / NA	30 minutos	Las dosis entregadas por cada motor son de 100g, para una cantidad de 90 prendas el motor debe entregar: Sal: 7600g Sulfuro de sodio: 5700g Tinta: 3800g	

10.3 Subsistema C: IHM y salida de agua y Vapor

En la Figura 11 se presenta el diagrama con entradas y salidas diseñado para el subsistema C.

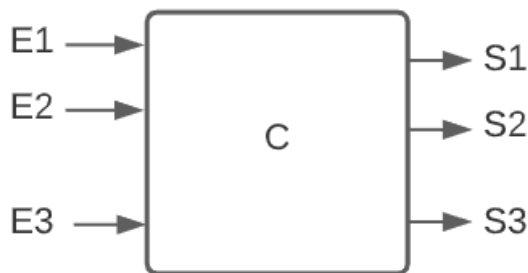


Figura 11. Subsistema C

Este subsistema es el encargado de recibir la información con la cantidad de ropa que se va a tinturar, procesarla y enviarla a los demás subsistemas.

Además, también debe controlar la cantidad y los tiempos en los que el agua y el vapor que ingresan a la lavadora.

Entradas:

E1: Agua

E2: Vapor

E3: Cantidad de ropa

Salidas

S1: Salida controlada de agua

S2: Salida controlada de vapor

S3: Cantidad de ropa a tinturar

10.3.1 Requerimientos del subsistema C

Requerimientos funcionales

1. El subsistema debe tener un componente que permita al usuario ingresar la información de cantidad de ropa.
2. El subsistema debe tener una interfaz gráfica que le brinde información al usuario acerca de los estados del proceso de tintura.
3. El subsistema debe tener un componente que permita o no el paso de agua hacia la lavadora industrial.
4. El subsistema debe tener un componente que indique cuando el agua dentro de la lavadora llegue al nivel indicado para el proceso de tintura.
5. El subsistema debe tener un componente que indique o no el paso de vapor hacia la lavadora para calentar el agua dentro de la lavadora.
6. El subsistema debe tener un componente que registre y transmita la temperatura hacia el controlador.

Requerimientos de calidad

1. El nivel de agua dentro de la lavadora no debe tener una variación mayor a 0.5 cm, es decir, *nivel de agua* ± 0.5 cm
2. La temperatura registrada por el componente debe tener una precisión de 1 grado centígrado.

Requerimientos de restricción

1. El subsistema no tiene requerimientos de restricción.

10.3.2 Funciones, entradas y salidas subsistema C

En la Figura 12 se presenta el diagrama de bloques detallado con entradas y salidas diseñado para el subsistema C.

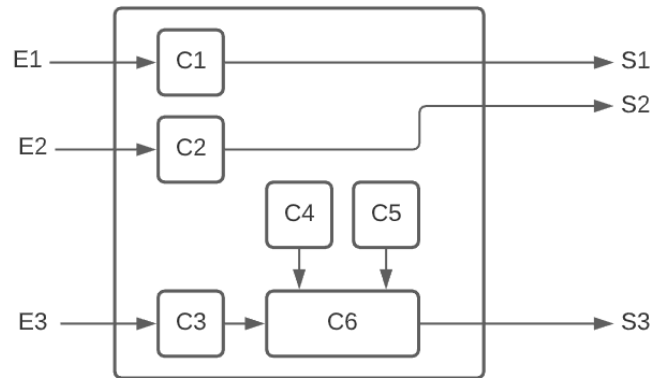


Figura 12. Diseño detallado, subsistema C

El subsistema C es el encargado de interactuar con el usuario, enviar los datos ingresados a los demás subsistemas y dosificar y controlar el agua y el vapor que entran a la lavadora.

Entradas:

E1: Agua

E2: Vapor

E3: Cantidad de ropa a tinturar

Salidas:

S1: Salida controlada de agua

S2: Salida controlada de vapor

S3: Cantidad de ropa a tinturar

a. Bloque C1

Es un componente controlado por voltaje que se encarga de dar o no paso de agua hacia la lavadora, dependiendo de una señal de control.

b. Bloque C2

Componente controlado por voltaje que se encarga de dar o no paso de vapor hacia la lavadora, dependiendo de una señal de control.

c. Bloque C3

Consta de dos componentes encargados de permitir al usuario interactuar con el sistema, es allí donde el podrá ingresar la información, iniciar o detener el proceso y visualizar el estado del sistema y la etapa en la que se encuentra.

d. Bloque C4

Componente encargado de indicar si el agua ha llegado o no a su nivel máximo.

e. Bloque C5

Componente encargado de indicar si la temperatura dentro de la lavadora ha llegado a 40 u 80 grados centígrados

f. Bloque C6

Controlador del bloque, se encarga de centralizar todas las decisiones y enviar las órdenes a los demás bloques para que tomen acción dependiendo de la etapa en la que se encuentre el proceso.

También se comunica con los demás subsistemas para enviar información tal como cantidad de ropa o tiempos de dosificación.

10.3.3 Diseño del subsistema C

Subsistema C, componente C1

Requerimientos del componente

- Voltaje máximo de alimentación: 12V
- Normalmente cerrado

La Tabla 22 presenta el formato para la selección del componente C1 del subsistema C.

Tabla 22. Selección de componente C1

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Válvula metálica 1/2"	Válvula plástica 1/2"	Válvula plástica 3/4"
Voltaje de alimentación: 5- 12 V	12 V	12 V	12 V
Normalmente cerrado	Sí	Sí	Sí

Aunque las 3 válvulas cumplen con los requerimientos del componente, se decidió trabajar con la válvula plástica de 3/4" debido a que permite un mayor caudal de agua.

Subsistema C, componente C2

Requerimientos del componente

- Voltaje máximo de alimentación: 12V
- Normalmente cerrado

La Tabla 23 presenta el formato para la selección del componente C2 del subsistema C.

Tabla 23. Selección de componente C2

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Válvula metálica 1/2"	Válvula plástica 1/2"	Válvula plástica 3/4"
Voltaje de alimentación: 5- 12 V	12 V	12 V	12 V
Normalmente cerrado	Sí	Sí	Sí

Para este caso, se decidió trabajar con la válvula metálica de 1/2", esto debido a que estará trabajando con un gas caliente y el material debe ser más resistente.

Subsistema C, componente C3

Requerimientos del componente

- Número de pulsadores: 12
- Número mínimo de pixeles: 16x2

La Tabla 24 presenta el formato para la selección del componente C3 del subsistema C.

Tabla 24. Selección de componente C3

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Teclado matricial 4x4 profesional	Teclado matricial 4x4 de membrana	Teclado matricial 4x3 profesional
Número de pulsadores	16	16	12
	LCD 16x2	LCD 20x4	Display OLED i2c
Número de píxeles	16x2	20x4	128x64

Por facilidad de implementación y también para que el usuario tenga una interfaz usable, se ha decidido implementar el teclado matricial profesional de 4x4 y la pantalla LCD de 16x2.

Subsistema C, componente C4

Requerimientos del componente

- Voltaje máximo de alimentación: 5V

La Tabla 25 presenta el formato para la selección del componente C4 del subsistema C.

Tabla 25. Selección de componente C4

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Sensor interruptor de nivel en L acero inoxidable	Sensor interruptor de nivel plástico	Sensor interruptor de nivel en acero inoxidable
Voltaje de alimentación: 5V	NA Interruptor	NA Interruptor	NA Interruptor

Por su facilidad en la aplicación y porque se ajusta mejor para trabajar dentro de la lavadora, además, porque es resistente a los productos químicos corrosivos. Se ha decidido trabajar con el sensor interruptor de nivel en L fabricado en acero inoxidable.

Subsistema C, componente C5

Requerimientos del componente:

- Temperatura de trabajo: 0 – 100 grados
- Precisión de la medida: 1 grado centígrado

La Tabla 26 presenta el formato para la selección del componente C5 del subsistema C.

Tabla 26. Selección componente C5

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	LM35	Termocupla tipo K	Termocupla tipo E
Temperatura de trabajo	-40 ~ 110 grados centígrados	0 ~ 400 grados centígrados	-40 ~ 900 grados centígrados
Precisión de la medida	0.5 grafos	0,25 grados	NA

Aunque el LM35 es el componente más comúnmente usado, a nivel industrial es posible que no soporte las condiciones ambientales. La termocupla tipo K es la que más se acomoda a la aplicación que se quiere implementar, por esta razón es el componente que se utilizará.

Subsistema C, componente C6

Requerimientos del componente:

- Voltaje de alimentación 5 – 12 VDC
- 9 pines I/O
- Memoria flash 32 Kb
- Memoria RAM o SRAM: 2kB
- Velocidad de reloj: 16 MHz

La Tabla 27 presenta el formato para la selección del componente C6 del subsistema C.

Tabla 27. Selección de componente C6

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Mega 32U4	PIC18F2550	ARM Cortex A7
Voltaje de alimentación: 5- 12 V	5 – 12 V	5 V	5 V
Pines I/O	20	35	40
Memoria Flash	32 kB	32 kB	SD
Memoria RAM	2kB	2kB	1 GB
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	1.4 GHz

De acuerdo con los requerimientos levantados, se decidió trabajar con el microcontrolador MEGA 32U4 quien cumple con los objetivos y requerimientos y además presenta un gran comportamiento en la relación costo / beneficio.

10.3.4 Diagrama esquemático de subsistema C

La Figura 13 muestra el esquemático de conexión para el subsistema C.

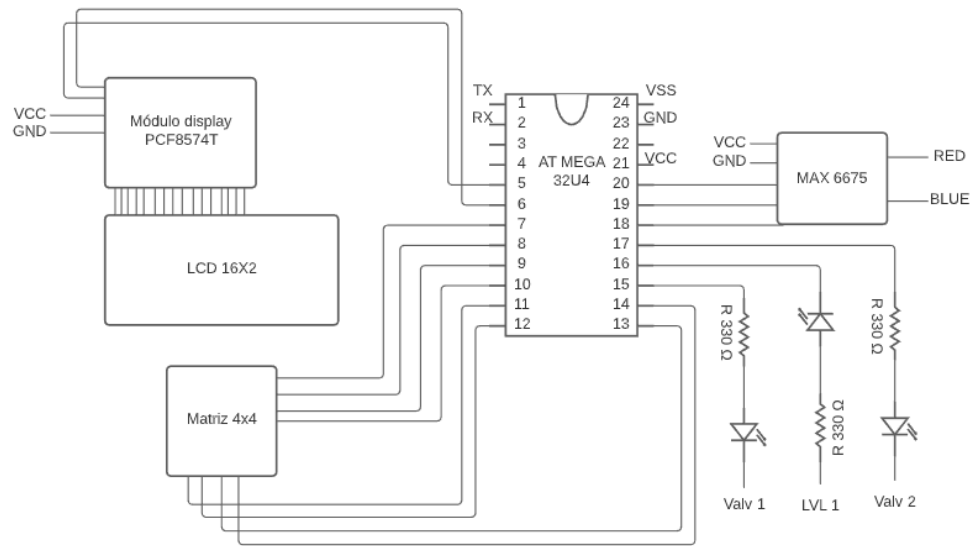


Figura 13. Esquemático subsistema C

10.3.5 Plan de pruebas del subsistema C

La Tabla 28 presenta el formato a diligenciar para evaluar el funcionamiento del subsistema C.

Tabla 28. Plan de pruebas, subsistema C

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Ingreso y visualización de información	Estudiante / NA	10 mins	Ingreso de 90 prendas, iniciar el proceso y visualizar en pantalla: "Proceso iniciado"	
Enviar señal de activación válvula de agua	Estudiante / NA	10 mins	Se visualiza el indicador LED de la válvula encendido	
Recibir señal de activación sensor de nivel	Estudiante / NA	30 mins	Se visualiza el indicador LED del sensor encendido	
Visualización de temperatura	Estudiante / NA	10 mins	Se visualizará en pantalla la temperatura censada por la termocupla	
Enviar señal activación válvula de vapor	Estudiante / NA	10 mins	Se visualiza el indicador LED de la válvula encendido	

10.4 Subsistema D: alimentación del sistema

La Figura 14 muestra el diagrama de bloques con entradas y salidas para el subsistema D, alimentación del sistema.

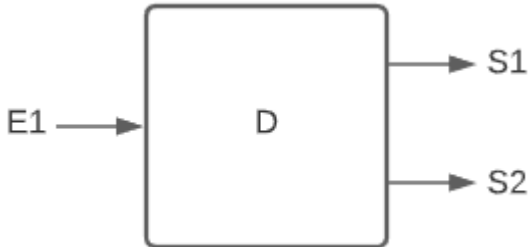


Figura 14. Subsistema D

El subsistema D está encargado de ser la interfaz entre el voltaje comercial de 120 V AC y la alimentación necesaria para el funcionamiento de los demás subsistemas, este realiza una conversión de voltaje AC a voltaje DC y adapta la potencia necesaria para cada uno de los subsistemas.

Entradas:

E1: 110 ~ 120 VAC

Salidas

S1: 12 VDC – 10 A

S2: 7 VDC – 5 A

10.4.1 Requerimientos del subsistema D

Requerimientos funcionales

1. El subsistema debe funcionar para una entrada de voltaje de 110 ~ 120 V AC.
2. El subsistema debe realizar la conversión de voltaje de 110 ~ 120 V AC a 12 V DC
3. El subsistema debe realizar la conversión de voltaje de 110 ~ 120 V AC a 7 V DC
4. La salida de 12 V debe proporcionar un flujo de corriente de hasta 10 A
5. La salida de 7 V debe proporcionar un flujo de corriente de hasta 5 A

Requerimientos de calidad

1. La salida de voltaje de 12 V DC no debe tener una variación mayor a 0,5 V DC, es decir, $12 \pm 0,5 \text{ VDC}$

2. La salida de voltaje de 7 V DC no debe tener una variación mayor a 0,5 V DC, es decir, $7 \pm 0,5 \text{ VDC}$

Requerimientos de restricción

1. No se presentan requerimientos de restricción.

10.4.2 Funciones, entradas y salidas del subsistema D

La Figura 15 muestra el diagrama de bloques detallado con entradas y salidas para el subsistema D, alimentación del sistema.

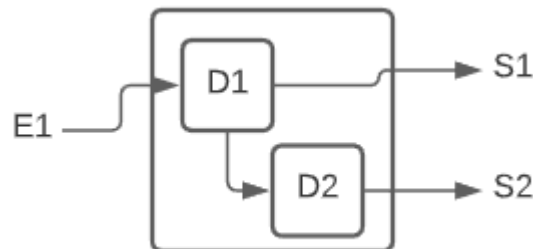


Figura 15. Subsistema D, diseño detallado

El subsistema D está encargado de proporcionar la alimentación necesaria a cada uno de los subsistemas, cuenta con una salida de 12 V DC de 10 A y otra de 7 V DC de 5 A. Con esto es suficiente para alimentar a todo el sistema.

a. Bloque D1

Hace referencia al subsistema que está directamente conectado con la fuente de energía comercial, que en este caso es de 110 ~ 120 V AC, realiza una conversión a voltaje DC y su salida es de 12 V DC.

b. Bloque D2

También es necesario obtener una salida de 7 V DC, esta es la función de este componente, es decir, realizar el acople de potencia desde el bloque D1 y lograr una salida de 7 V DC.

10.4.3 Diseño del subsistema D

Subsistema D, componente D1

Requerimientos del componente:

- Voltaje de alimentación: 110 ~ 120 VAC
- Voltaje de salida: 12 V DC
- Corriente de operación: 10 A

La Tabla 29 muestra el formato con los componentes que cumplen los requerimientos para la selección del dispositivo D1 del subsistema D.

Tabla 29. Selección de componente D1

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Fuente conmutada 12 V – 20 A	Fuente conmutada 12 V – 10 A	Fuente conmutada 12 V – 3 A
Voltaje de alimentación: 110 ~ 120 V AC	85 ~ 246 VAC	85 ~ 246 VAC	85 ~ 246 VAC
Voltaje de salida: 12 V	12 VDC	12 VDC	12 VDC
Corriente de salida 10 A	20 A	10 A	3 A

El componente que cumple de una mejor forma los requerimientos planteados es la fuente conmutada de 12 V DC – 10 A, por lo que para el sistema se trabajará con este componente.

Subsistema D, componente D2

Requerimientos del componente:

- Voltaje de alimentación: 12 V DC
- Voltaje de salida: 7 V DC
- Corriente de operación: 5 A

La Tabla 30 muestra el formato con los componentes que cumplen los requerimientos para la selección del dispositivo D2 del subsistema D.

Tabla 30. Selección de componente D2, subsistema D

SELECCIÓN COMPONENTE			
Requerimiento	Valor requerimiento		
	Convertor DC - DC Buck 5 A	Convertor DC – DC Boost Step-up	Convertor XL4015
Voltaje de alimentación: 12 V DC	4 ~ 38 V DC	10 ~ 60 V DC	4 ~ 38 V DC
Voltaje de salida: 7 V	1.5 ~ 36 V DC	12 ~ 80 V DC	1.5 ~ 36 V DC
Corriente de salida 5 A	5 A	10 A	5 A

Aunque el convertor tipo Buck tiene las mismas propiedades que el XL4015, el primero cuenta con un voltímetro integrado que permite un monitoreo constante del voltaje tanto de entrada como de salida del módulo, por esta razón se trabajará con el módulo convertor DC – DC tipo Buck de 5 A.

10.4.4 Esquemático del sistema

La Figura 16 muestra el esquemático de conexión para el subsistema D.

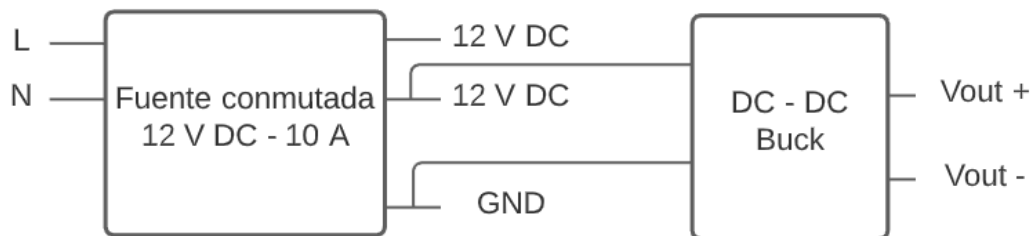


Figura 16. Esquemático subsistema D

10.4.5 Plan de pruebas del subsistema D

La Tabla 31 muestra el formato a diligenciar para evaluar el funcionamiento del subsistema D, alimentación del sistema.

Tabla 31. Plan de pruebas, subsistema D

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Salida de voltaje 12 V DC	Estudiante / Multímetro	10 mins	A la salida de la fuente conmutada debe haber una salida de 12 V DC	
Salida de voltaje de 7 V DC	Estudiante / Multímetro	10 mins	A la salida del convertor DC – DC debe haber una salida de 7 V DC	

10.4.6 Simulación del sistema

El sistema está compuesto por módulos completos, por tal motivo no es necesaria una simulación.

10.5 Subsistema E: lavadora industrial

La Figura 17 muestra el diagrama de bloques con entradas y salidas del subsistema E, lavadora industrial.

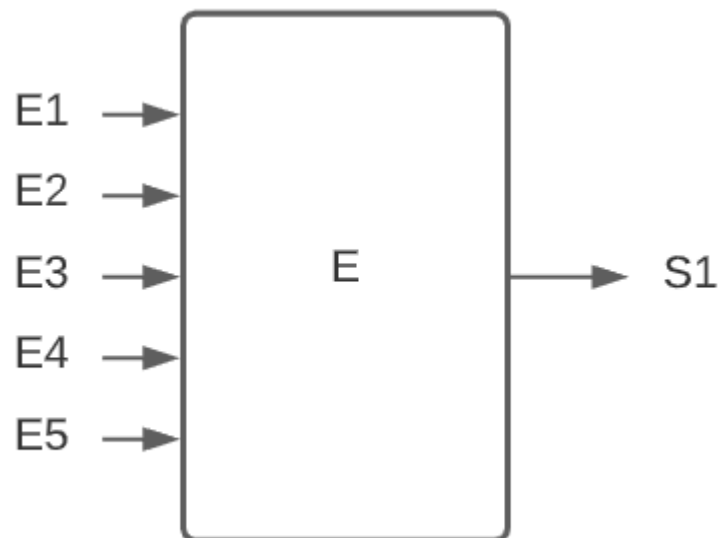


Figura 17. Subsistema E

El subsistema E hace referencia a la lavadora industrial, es aquí donde se realiza todo el proceso de tinturado de textiles y aunque ya se encuentra implementado, es un subsistema fundamental dentro del sistema de dosificación, debido a que es aquí donde llegan todas las entradas de los demás subsistemas.

Entradas:

E1: Productos químicos líquidos dosificados (ácido acético, soda cáustica, peróxido de hidrógeno).

E2: Productos químicos sólidos dosificados (sal industrial, tinta, sulfuro de sodio).

E3: Entrada de agua

E4: Entrada de vapor

E5: Ropa a tinturar

Salidas:

S1: Ropa tinturada

10.5.1 Requerimientos del subsistema

El subsistema ya se encuentra implementado, no presenta requerimientos adicionales.

10.5.2 Funciones, entradas y salidas del subsistema

El subsistema ya se encuentra implementado, no presenta funciones, entradas ni salidas adicionales a las mencionadas al inicio del subcapítulo.

10.5.3 Diseño del subsistema

El subsistema ya se encuentra implementado, no es necesaria una selección de componentes.

10.5.4 Diagrama esquemático del subsistema

El subsistema ya está implementado, no interviene eléctricamente con los demás subsistemas, por tal razón, no es necesario realizar un esquemático del sistema.

10.5.5 Plan de pruebas del subsistema

El subsistema ya se encuentra implementado, se le realizará un plan de pruebas de integración en el siguiente capítulo.

10.5.6 Simulación del subsistema

El subsistema ya está implementado, no es necesario realizar una simulación.

10.6 Esquemático del sistema

El esquemático del sistema se presenta en el anexo 20.2 del documento.

11 PLAN DE PRUEBAS DEL SISTEMA

11.1 Protocolo de pruebas

Se realizarán en primera medida las pruebas de los componentes de cada uno de los subsistemas, una vez realizadas se procederá con realizar la prueba de funcionamiento a los subsistemas en sí. Finalizada las pruebas a los subsistemas se procederá con la integración de cada uno de los subsistemas y finalmente se probará todo el sistema en conjunto. El orden de las pruebas se muestra a continuación:

- Prueba componentes y subsistema A
- Prueba componentes y subsistema B
- Prueba componentes y subsistema C
- Prueba componentes y subsistema D
- Prueba de integración subsistema C y D
- Prueba de integración subsistema C, D y A
- Prueba de integración subsistema C, D, A y B
- Prueba de integración sistema completo

11.2 Planes de pruebas

11.2.1 Pruebas componentes y subsistema A

La Tabla 32 presenta el formato a diligenciar para evaluar el funcionamiento de los componentes y subsistema A (dosificador de productos químicos líquidos).

Tabla 32. Pruebas componentes y subsistema A

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Sensor de nivel del tanque.	Estudiante / NA	10 mins	El LED está apagado mientras el nivel en el tanque es superior a 500g. El led enciende cuando el nivel de líquido en el tanque es inferior a 500g.	
Apertura y cierre válvula de salida del tanque	Estudiante / NA	10 mins	La válvula se abrirá por 2 minutos y luego de	

			pasado el tiempo debe cerrarse.	
Accionar válvula de salida del tanque por medio de un peso alcanzado y registrado en la báscula	Estudiante / NA	10 mins	La válvula de salida del tanque se debe abrir hasta que la báscula registre un peso de 500g.	
Accionar válvula de entrada a la lavadora ordenada por la báscula	Estudiante / NA	10 mins	La válvula de entrada de líquido a la lavadora debe abrirse si el peso en la báscula es igual o superior a 100g.	

11.2.2 Prueba componentes y subsistema B

La Tabla 33 presenta el formato a diligenciar para evaluar el funcionamiento de los componentes y subsistema B (dosificador de productos químicos sólidos).

Tabla 33. Plan de pruebas componentes y subsistema B

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Sensor de nivel del tanque.	Estudiante / NA	10 mins	El LED está apagado mientras el nivel en el tanque es superior a 5kg. El led enciende cuando el nivel de líquido en el tanque es inferior a 5kg.	
Giro de 180 grados del motor de cada uno de los tanques	Estudiante / NA	10 mins	El motor de cada uno de los tanques deberá realizar un giro de 180 grados.	
Giro de motor para una cantidad de producto de 90 prendas	Estudiante / NA	30 minutos	Las dosis entregadas por cada motor son de 100g, para una cantidad de 90 prendas el motor debe entregar: Sal: 7600g Sulfuro de sodio: 5700g Tinta: 3800g	

11.2.3 Prueba componentes y subsistema C

La Tabla 34 presenta el formato a diligenciar para evaluar el funcionamiento de los componentes y subsistema C (IHM y entrada de agua y vapor a la lavadora).

Tabla 34. Plan de pruebas componentes y subsistema C

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Ingreso y visualización de información	Estudiante / NA	10 mins	Ingreso de 90 prendas, iniciar el proceso y visualizar en pantalla: "Proceso iniciado"	
Enviar señal de activación válvula de agua	Estudiante / NA	10 mins	Se visualiza el indicador LED de la válvula encendido	
Recibir señal de activación sensor de nivel	Estudiante / NA	30 mins	Se visualiza el indicador LED del sensor encendido	
Visualización de temperatura	Estudiante / NA	10 mins	Se visualizará en pantalla la temperatura censada por la termocupla	
Enviar señal de activación válvula de vapor	Estudiante / NA	10 mins	Se visualiza el indicador LED de la válvula encendido	

11.2.4 Prueba componentes y subsistema D

La Tabla 35 presenta el formato a diligenciar para evaluar el funcionamiento de los componentes y subsistema D (alimentación del sistema).

Tabla 35. Plan de pruebas componentes y subsistema D

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Salida de voltaje 12 V DC	Estudiante / Multímetro	10 mins	A la salida de la fuente conmutada debe haber una salida de 12 V DC	
Salida de voltaje de 7 V DC	Estudiante / Multímetro	10 mins	A la salida del conversor DC – DC debe haber una salida de 7 V DC	

11.2.5 Prueba de integración subsistema C y D

La Tabla 36 presenta el formato a diligenciar para evaluar el funcionamiento de la integración de los subsistemas C y D.

Tabla 36. Plan de pruebas, integración C y D

Descripción	Se evaluará que el subsistema de alimentación ponga en funcionamiento el subsistema D y que esté realice las funciones requeridas en la prueba 11.2.3 de igual forma a como las realizó antes de la integración
Personal necesario	Estudiante
Tiempo de la prueba	30 minutos
Equipo necesario	Multímetro - PC
Prueba	
Voltaje de alimentación al microcontrolador	<i>(Indicar valor de voltaje)</i>
Prueba de funciones realizadas en la prueba 11.2.3	<i>(Indicar la prueba realizada y el resultado obtenido)</i>

11.2.6 Prueba de integración subsistema C, D y A

La Tabla 37 presenta el formato a diligenciar para evaluar el funcionamiento de la integración de los subsistemas A, C y D.

Tabla 37. Plan de pruebas, integración subsistemas A, C y D

Descripción	Se evaluará que el subsistema de alimentación ponga en funcionamiento el subsistema A, además que entre el subsistema C y el subsistema A exista comunicación. Finalmente, que el subsistema A realice las funciones requeridas en la prueba 11.2.1 de igual forma a como las realizó antes de la integración
Personal necesario	Estudiante
Tiempo de la prueba	30 minutos
Equipo necesario	Multímetro - PC
Prueba	
Voltaje de alimentación al microcontrolador del subsistema A	<i>(Indicar valor de voltaje)</i>
Número de prendas enviado desde el subsistema C al subsistema A	<i>(Indicar las cantidades de líquido dosificadas por el subsistema A)</i>
Prueba de funciones realizadas en la prueba 11.2.1	<i>(Indicar la prueba realizada y el resultado obtenido)</i>

11.2.7 Prueba de integración subsistema C, D, A y B

La Tabla 38 presenta el formato a diligenciar para evaluar el funcionamiento de la integración de los subsistemas A, B, C y D.

Tabla 38. Plan de pruebas, integración subsistemas A, B, C y D

Descripción	Se evaluará que el subsistema de alimentación ponga en funcionamiento el subsistema B, además que entre el subsistema C y el subsistema B exista comunicación. Finalmente, que el subsistema B realice las funciones requeridas en la prueba 11.2.2 de igual forma a como las realizó antes de la integración
Personal necesario	Estudiante
Tiempo de la prueba	30 minutos
Equipo necesario	Multímetro - PC
Prueba	
Voltaje de alimentación al microcontrolador del subsistema B	<i>(Indicar valor de voltaje)</i>
Número de prendas enviado desde el subsistema C al subsistema B	<i>(Indicar las cantidades de líquido dosificadas por el subsistema A)</i>
Prueba de funciones realizadas en la prueba 11.2.2	<i>(Indicar la prueba realizada y el resultado obtenido)</i>

11.2.8 Prueba de integración sistema completo

La Tabla 39 presenta el formato a diligenciar para evaluar el funcionamiento de la integración de todos los subsistemas.

Tabla 39. Plan de pruebas, integración del sistema

Descripción	Se evaluará el sistema integrado completo para una cantidad de 40, 60 y 90 prendas. El subsistema debe dosificar las cantidades de producto de forma adecuada y en los tiempos estipulados en el proceso.
Personal necesario	Estudiante
Tiempo de la prueba	90 minutos
Equipo necesario	Multímetro - PC
Prueba	
Soda cáustica	<i>(Indicar la cantidad de ropa para el proceso, la cantidad de producto dosificado y el orden en el que se dosificó)</i>
Tinta	<i>(Indicar la cantidad de ropa para el proceso, la cantidad de producto dosificado y el orden en el que se dosificó)</i>
Sulfuro de sodio	<i>(Indicar la cantidad de ropa para el proceso, la cantidad de producto dosificado y el orden en el que se dosificó)</i>
Sal industrial	<i>(Indicar la cantidad de ropa para el proceso, la cantidad de producto dosificado y el orden en el que se dosificó)</i>
Peróxido de hidrogeno	<i>(Indicar la cantidad de ropa para el proceso, la cantidad de producto dosificado y el orden en el que se dosificó)</i>
Ácido acético	<i>(Indicar la cantidad de ropa para el proceso, la cantidad de producto dosificado y el orden en el que se dosificó)</i>

12 DISEÑO INTERFAZ H/M

Para la interfaz humano / máquina se plantea que el usuario pueda visualizar en qué etapa del proceso se encuentra trabajando y que además se pueda ingresar la cantidad de ropa que se va a tinturar, por eso, fundamentalmente se necesitara una interfaz gráfica y un teclado de entrada.

12.1 Interfaz SW

Como se mencionó al inicio del capítulo, la interfaz H/M del sistema permitirá que se visualice la etapa del proceso en la que se encuentra trabajando. Además, el usuario debe poder ingresar información al sistema de la cantidad de ropa que se va a tinturar.

Para cumplir los requerimientos visuales, se utilizará un display LCD 16x2 en el cual se puede mostrar eficientemente la información de las etapas del proceso.

En el caso de los requerimientos de entrada de datos, un teclado matricial 4x4 cumple perfectamente ya que además de que permite ingresar uno a uno cualquier dígito entre 0 – 9 también brinda teclas adicionales a las cuales se les pueden asignar acciones como ordenes de “Enviar” o “Borrar” las cuales pueden ser de mucha utilidad en la ejecución del proceso.

La Figura 18 muestra una aproximación del diseño de la interfaz H/M.

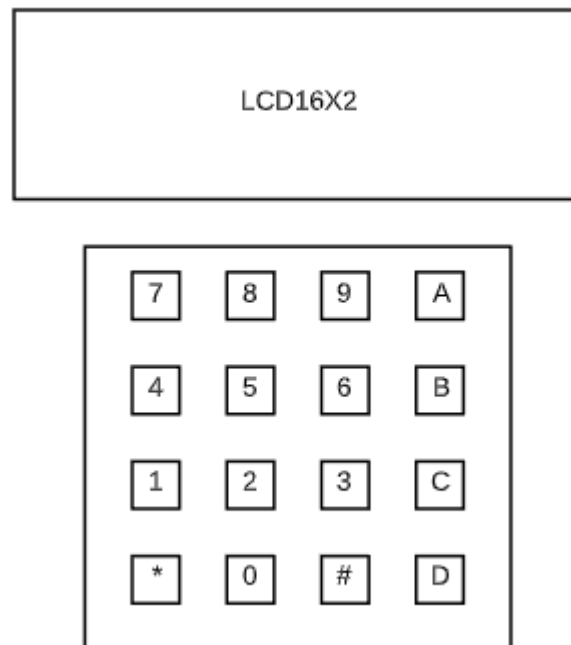


Figura 18. Interfaz H/M

12.2 Interfaz H/M – Entre dispositivos

El sistema no se conectará de ninguna forma a un dispositivo externo, por tal razón, no habrá interfaz H/M entre dispositivos.

12.3 Interfaz H/M – Usuario

Para la selección del display se plantearon los siguientes requerimientos:

- Voltaje de operación: 5V
- Conexión y trabajo bajo la modalidad I2C
- Visualización óptima e iluminación propia

El display LCD 16x2, aunque no incorpora propiamente la conexión I2C, existe un módulo que permite la conversión de su conexión normal a una I2C para la integración con microcontroladores.

Los demás requerimientos los cumple sin problema, además es un display de fácil acceso y manejo para futuros mantenimientos ya sean correctivos o preventivos.

En el caso del teclado, como se mencionó en el subcapítulo 12.1 el teclado matricial 4x4 además de permitir el ingreso al microcontrolador de cualquier dígito entre 0-9 permite 4 teclas de entrada adicionales que pueden ser funcionales para ser teclas de acción en el funcionamiento del sistema.

13 IMPLEMENTACIÓN

En el presente capítulo se documenta el proceso de implementación del sistema pasando por cada uno de los subsistemas. El software implementado en cada uno de los microcontroladores se presenta en el anexo 20.3.

13.1 Subsistema A: dosificador de productos químicos líquidos

Este subsistema se encarga de, como su nombre lo dice, realizar la dosificación de cada uno de los productos químicos líquidos que se utilizan en el proceso de tintura, en el momento y la cantidad adecuada según el número de prendas que se estén tinturando en ese proceso.

Los componentes electrónicos utilizados para la implementación del subsistema son:

- Microprocesador Atmega32u4
- 3 electroválvulas de 12 V con entrada 1/2" y salida 3/8"
- 3 electroválvulas de 12 V con entrada 3/8" y salida 3/8"
- 3 celdas de carga (galga) de 1 kg
- 3 módulos conversores análogo digital HX711

El circuito eléctrico para este subsistema se presenta en la Figura 19 y Figura 20.

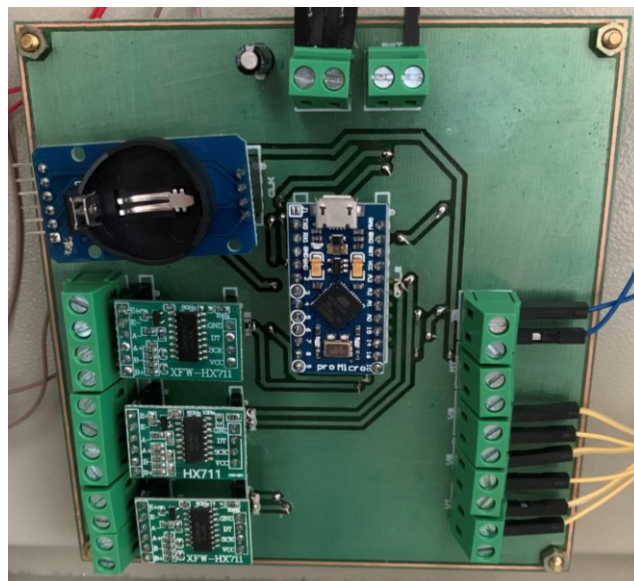


Figura 19. Circuito electrónico subsistema A, frente.

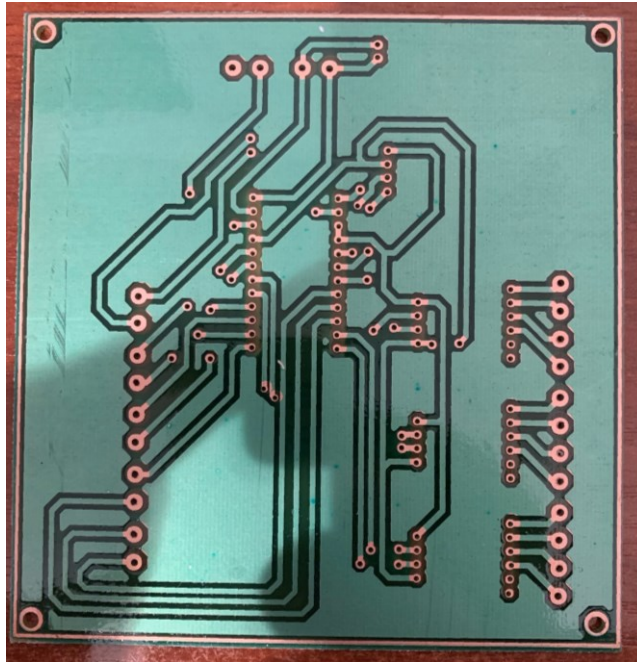


Figura 20. Circuito electrónico subsistema A, parte trasera.

Las conexiones al subsistema se hacen de la siguiente manera:

Válvulas: en la Figura 19 se observan 5 borneras en la parte inferior derecha, las que corresponden a las válvulas del subsistema son las últimas 3 (partiendo de que la primera es la que está más arriba y la quinta la que se encuentra al inferior del PCB).

Cada bornera cuenta con 2 salidas, una para la válvula de $\frac{1}{2}$ "- $\frac{3}{8}$ " y otra para la válvula $\frac{3}{8}$ " – $\frac{3}{8}$ " de cada uno de los productos.

Comunicación: la primera bornera de la parte derecha (Figura 19) está destinada para la comunicación del controlador, en este caso la primera entrada llega al pin de transmisión y la segunda entrada al pin de recepción.

Alimentación: el circuito cuenta con un voltaje de alimentación de 7V, el cual llega a la bornera izquierda que se encuentra en la parte superior (Figura 19), el pin izquierdo es la entrada de los 7V DC y el derecho corresponde a GND.

Celdas de carga: las celdas de carga se muestran en la Figura 21. La conexión de ellas se hace de la siguiente manera al convertor análogo – digital HX711:

- Cable rojo: E+
- Cable negro: E-
- Cable verde: A-
- Cable blanco: A+

Estas conexiones se realizan en las borneras que se encuentran al lado izquierdo de los controladores (Figura 19).

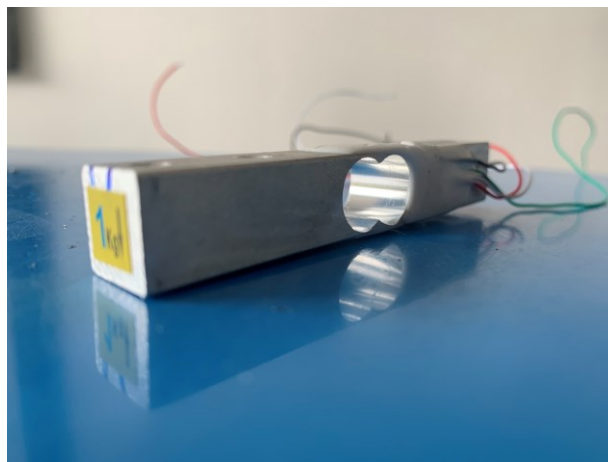


Figura 21. Celda de carga de 1kg

La implementación mecánica de cada producto químico líquido (soda cáustica, peróxido de hidrógeno, ácido acético) cuenta con las siguientes piezas mostradas en la Figura 22 y Figura 23:



Figura 22. Tanque de producto químico Líquido



Figura 23. Báscula y salida de líquido

La salida de la válvula mostrada en la Figura 23 llega a la lavadora industrial.
La Figura 24. Muestra la implementación final del subsistema A.



Figura 24. Implementación subsistema A

13.2 Subsistema B: dosificador de producto químico sólido

Este subsistema se encarga de, como su nombre lo dice, realizar la dosificación de cada uno de los productos químicos sólidos que se utilizan en el proceso de tintura, en el momento y la cantidad adecuada según el número de prendas que se estén tinturando en ese proceso.

Los componentes electrónicos utilizados para la implementación del subsistema son:

- Microprocesador Atmega32u4
- 3 servomotores MG995 de 180 grados
- 3 sensores de proximidad

El circuito eléctrico para este subsistema se presenta en la Figura 25 y Figura 26.

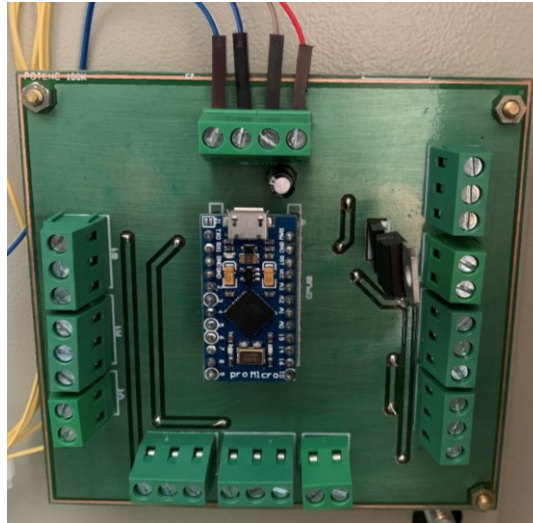


Figura 25. Circuito electrónico subsistema B, frontal.

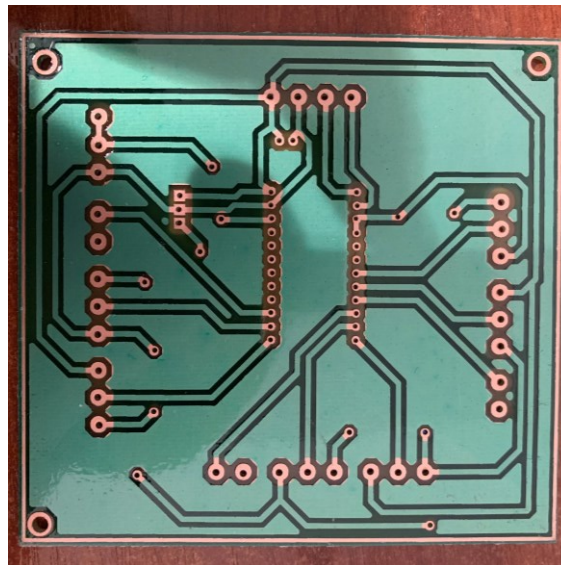


Figura 26. Circuito electrónico subsistema B, vista posterior.

En la placa de PCB se mencionan cada uno de los componentes que se deben conectar en las borneras siendo M1, M2 y M3 los indicadores de los motores y S1, S2 y S3 los indicadores de los sensores. Así, M1 y S1 hacen referencia al motor y al sensor del producto químico sólido #1 (sal industrial), las conexiones en las borneras se realizan de la siguiente manera:

Servomotor MG995:

- Cable naranja: señal PWM
- Cable rojo: voltaje de alimentación
- Cable café: tierra

El servomotor se muestra en la Figura 27



Figura 27. Servomotor MG995

Sensor de proximidad:

- Cable café: 5 ~ 36 V DC
- Cable negro: señal
- Cable azul: tierra

El sensor se muestra en la Figura 28:



Figura 28. Sensor de proximidad sólidos.

La implementación mecánica de cada producto químico sólido (sal industrial, tinta, sulfuro de sodio) cuenta con las siguientes piezas mostradas en la Figura 29 y Figura 30:



Figura 29. Tanque de almacenamiento sólidos.

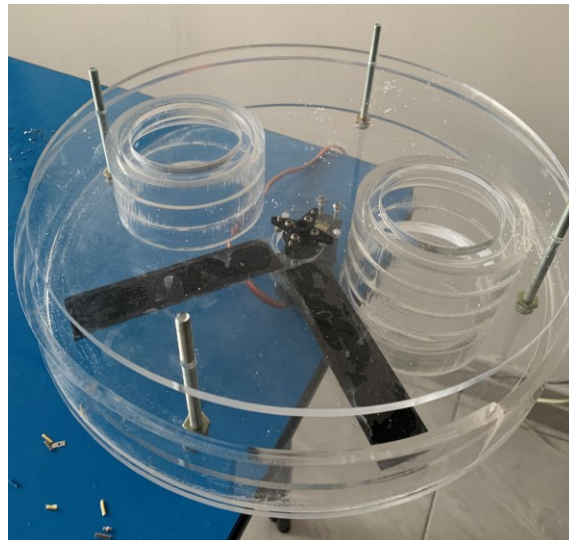


Figura 30. Dosificador volumétrico de sólidos.

La Figura 31. Muestra la implementación completa del subsistema B.



Figura 31. Implementación subsistema B

13.3 Subsistema C: IHM y salidas de agua y vapor

Este subsistema es la interfaz de la máquina con el usuario, se encarga de recibir los datos de cantidad de ropa e informar al usuario el estado en el que se encuentra el proceso de tintura, además también se encarga de permitir en los momentos indicados el paso de agua y vapor hacia la lavadora.

Los componentes electrónicos de este subsistema son:

- Microprocesador Atmega32u4
- Teclado matricial 4x4
- Display LCD 16x2
- Controlador I2C display 16X2
- Módulo para termocupla Tipo K MAX 6675

En la Figura 32 y Figura 33 se puede ver el circuito electrónico elaborado para el subsistema:



Figura 32. Subsistema C circuito electrónico, frontal.

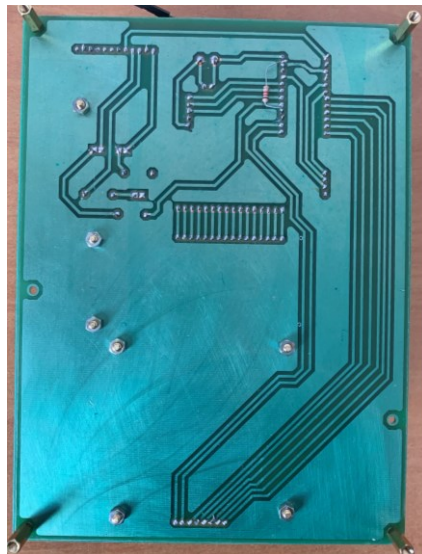


Figura 33. Subsistema C, circuito electrónico, vista posterior.

La única conexión que se debe realizar en este subsistema es la de alimentación, esta se realiza por medio de la bornera que se encuentra en la parte superior de la placa, el pin izquierdo debe ir a 7 V DC y el derecho a tierra.

En caso de que se tenga que cambiar algún componente simplemente se debe desajustar, sacar de la regleta donde se encuentre y el nuevo se debe poner de la misma forma que se encontraba el anterior.

Para el caso del sensor de temperatura que controla el paso o no de vapor a la lavadora y es controlado por el módulo MAX 6675 (Figura 34):

- Terminal rojo: conector positivo MAX 6675
- Terminal azul: conector negativo MAX 6675

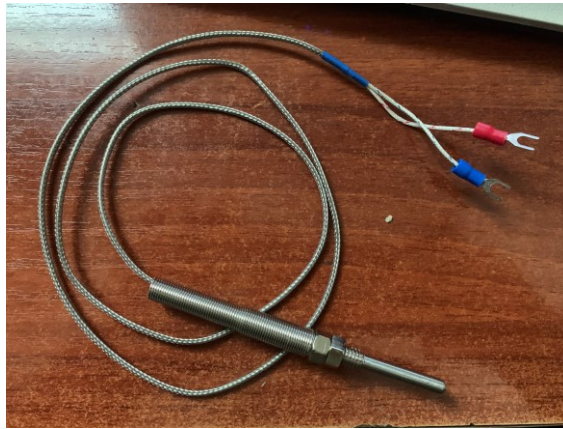


Figura 34. Termocupla tipo K

Válvula de agua y válvula de vapor: se maneja el mismo tipo de válvula de 12 V DC (Figura 35), estas válvulas no tienen polaridad. La señal de control para la activación de la válvula de agua sale del pin 1 (izquierda a derecha) de la regleta que se encuentra en la parte superior derecha del circuito, la señal de control de la válvula de vapor sale del pin 4.

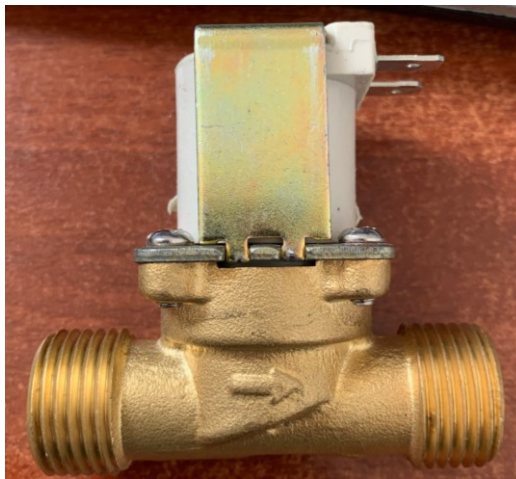


Figura 35. Electroválvula de 12 V DC

Sensor de nivel: este sensor funciona como un switch y por tal motivo no tiene polaridad (Figura 36), se debe conectar en los pines 2 y 3 (de izquierda a derecha) de la regleta que se encuentra en la parte superior derecha del circuito impreso.



Figura 36. Sensor de nivel

13.4 Subsistema D, alimentación

Este sistema se encarga de recibir la energía comercial y transformarla en la energía necesaria para la alimentación de los subsistemas, para este subsistema se utilizaron los siguientes componentes:

- Fuente conmutada de 120 V AC a 12 VDC (Figura 37)
- Transformador DC – DC (Figura 36)



Figura 37. Fuente conmutada de 12 V

La conexión de la fuente se da de la siguiente manera (los pines se cuentan de izquierda a derecha):

- Pin 1: Línea de voltaje alterno 120 V AC
- Pin 2: Neutro
- Pin 3: GND

- Pin 4 y pin 5: - V DC
- Pin 5 y pin 6: +V DC

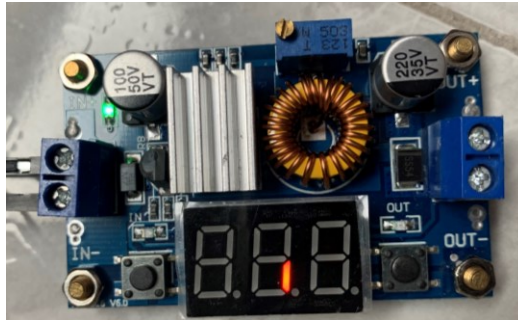


Figura 38. Conversor DC – DC

Las entradas y las salidas del módulo conversor DC - DC, presente en la Figura 38, se encuentran marcadas en el mismo.

Para los acoples de potencia necesarios para el funcionamiento de las válvulas y los motores se utilizaron:

- Módulo relé de 8 canales (Figura 39)

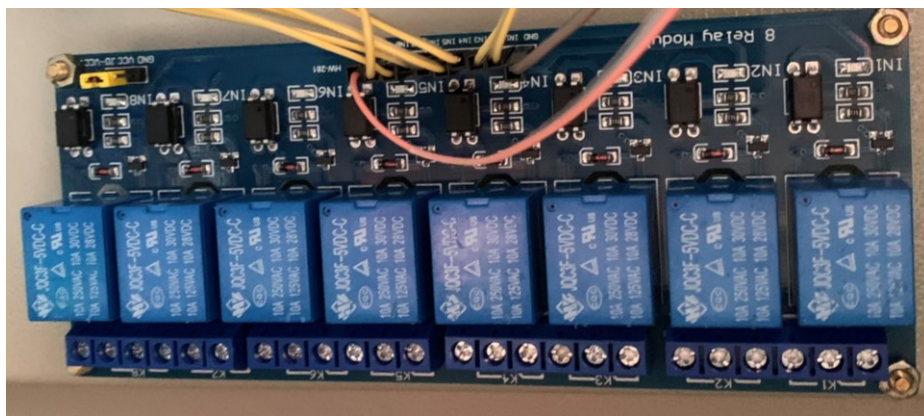


Figura 39. Módulo relé de 8 canales

Las conexiones de este módulo vienen marcadas en el mismo.

13.5 Subsistema E: lavadora industrial

El subsistema E ya se encuentra implementado, en la Figura 40 se muestra la lavadora industrial.



Figura 40. Lavadora industrial

13.6 Implementación del sistema:

En la Figura 41. y Figura 42. se muestra el tablero eléctrico implementado para el funcionamiento de los subsistemas. La conexión de los subsistemas se comentó individualmente para cada uno de ellos en los numerales anteriores.

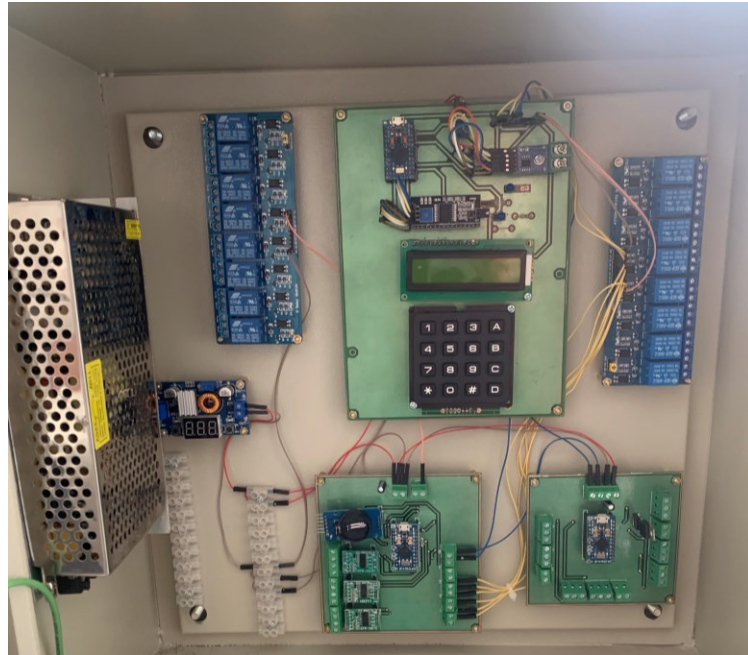


Figura 41. Sistema electrónico implementado

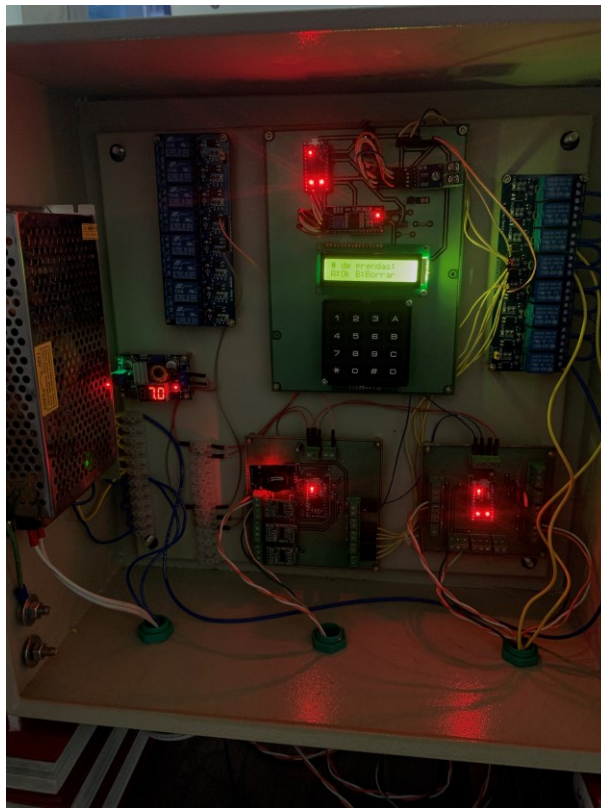


Figura 42. Sistema electrónico implementado, toma 2

En la Figura 42 y Figura 43 se muestra la implementación de los subsistemas A, B, C y D. La estructura está realizada en acero inoxidable y los recipientes tanto de líquidos como de sólidos en plástico PVC, estos materiales son resistentes a la corrosividad de los productos químicos utilizados en los procesos de dosificación.



Figura 43. Sistema implementado



Figura 44. Sistema implementado, toma 2

14 PRUEBAS DEL SISTEMA

Las pruebas de funcionamiento tanto de los componentes, subsistemas e integración se realizaron siguiendo el plan de pruebas del capítulo 11.

14.1 Pruebas componentes y subsistema A

La tabla 40 muestra el formato diligenciado para la evaluación de funcionamiento del subsistema A.

Tabla 40. Ejecución de pruebas y componentes subsistema A

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Sensor de nivel del tanque.	Estudiante / NA	10 mins	El LED está apagado mientras el nivel en el tanque es superior a 500g. El led enciende cuando el nivel de líquido en el tanque es inferior a 500g.	El nivel en el tanque es visual
Apertura y cierre válvula de salida del tanque	Estudiante / NA	10 mins	La válvula se abrirá por 2 minutos y luego de pasado el tiempo debe cerrarse.	Válvula abierta por un periodo de 2 minutos
Accionar válvula de salida del tanque por medio de un peso alcanzado y registrado en la báscula	Estudiante / NA	10 mins	La válvula de salida del tanque se debe abrir hasta que la báscula registre un peso de 500g.	Válvula abierta hasta la medición del peso correcto
Accionar válvula de entrada a la lavadora ordenada por la báscula	Estudiante / NA	10 mins	La válvula de entrada de líquido a la lavadora debe abrirse si el peso en la báscula es igual o superior a 100g.	Válvula abierta a partir de superados los 100g.

14.2 Pruebas componentes y subsistema B

La tabla 41 presenta el formato diligenciado para la evaluación del funcionamiento de los componentes y el subsistema B.

Tabla 41. Ejecución de pruebas componentes y subsistema B

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Sensor de nivel del tanque.	Estudiante / NA	10 mins	El LED está apagado mientras el nivel en el tanque es superior a 5kg. El led enciende cuando el nivel de líquido en el tanque es inferior a 5kg.	Led apagado para cantidad superior a 6 Kg. Led encendido para cantidad inferior a 6 Kg.
Giro de 180 grados del motor de cada uno de los tanques	Estudiante / NA	10 mins	El motor de cada uno de los tanques deberá realizar un giro de 180 grados.	El motor se encuentra en la capacidad de dar giros en cualquier ángulo entre 0 y 180 grados.
Giro de motor para una cantidad de producto de 90 prendas	Estudiante / NA	30 minutos	Las dosis entregadas por cada motor son de 100g, para una cantidad de 90 prendas el motor debe entregar: Sal: 7600g Sulfuro de sodio: 5700g Tinta: 3800g	Prueba no ejecutada aún

14.3 Pruebas componentes y subsistema C

La tabla 42 presenta el formato diligenciado para la evaluación de funcionamiento del subsistema C y sus componentes.

Tabla 42. Ejecución de pruebas componentes y subsistema C

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Ingreso y visualización de información	Estudiante / NA	10 mins	Ingreso de 90 prendas, iniciar el proceso y visualizar en pantalla: "Proceso iniciado"	Mensaje: "Proceso iniciado"
Enviar señal de activación válvula de agua	Estudiante / NA	10 mins	Se visualiza el indicador LED de la válvula encendido	LED suspendido, indicador en el relé activo.
Recibir señal de activación sensor de nivel	Estudiante / NA	30 mins	Se visualiza el indicador LED del sensor encendido	LED Activo
Visualización de temperatura	Estudiante / NA	10 mins	Se visualizará en pantalla la temperatura censada por la termocupla	Se visualiza la temperatura sesada por la termocupla.
Enviar señal de activación válvula de vapor	Estudiante / NA	10 mins	Se visualiza el indicador LED de la válvula encendido	LED suspendido, indicador en el relé activo.

14.4 Pruebas componentes y subsistema D

La tabla 43 presenta el formato diligenciado para la evaluación de funcionamiento de los componentes y el subsistema D.

Tabla 43. Ejecución pruebas componentes y subsistema D

Prueba	Personal /Equipo necesario	Tiempo de la prueba	Resultado esperado	Resultado obtenido
Salida de voltaje 12 V DC	Estudiante / Multímetro	10 mins	A la salida de la fuente conmutada debe haber una salida de 12 V DC	Voltaje de salida: 12 V
Salida de voltaje de 7 V DC	Estudiante / Multímetro	10 mins	A la salida del conversor DC – DC debe haber una salida de 7 V DC	Voltaje de salida: 7 V

14.5 Integración subsistema C (IHM) y D (alimentación)

La Tabla 43 presenta el formato diligenciado para la evaluación del funcionamiento en la integración de los subsistemas C y D

Tabla 44. Ejecución prueba de integración C y D

Descripción	Se evaluará que el subsistema de alimentación ponga en funcionamiento el subsistema D y que esté realice las funciones requeridas en la prueba 11.2.3 de igual forma a como las realizó antes de la integración
Personal necesario	Estudiante
Tiempo de la prueba	30 minutos
Equipo necesario	Multímetro - PC
Prueba	
Voltaje de alimentación al microcontrolador	7 V
Prueba de funciones realizadas en la prueba 11.2.3	La ejecución de la prueba 14.3 se da con la integración de los subsistemas de alimentación e IHM, prueba satisfactoria.

14.6 Integración subsistemas C (IHM), D (alimentación) y A (líquidos)

La Tabla 44 presenta el formato diligenciado en la evaluación de funcionamiento de integración de los subsistemas C, D y A.

Tabla 45. Ejecución pruebas de integración C, D y A

Descripción	Se evaluará que el subsistema de alimentación ponga en funcionamiento el subsistema A, además que entre el subsistema C y el subsistema A exista comunicación. Finalmente, que el subsistema A realice las funciones requeridas en la prueba 11.2.1 de igual forma a como las realizó antes de la integración
Personal necesario	Estudiante
Tiempo de la prueba	30 minutos
Equipo necesario	Multímetro - PC
Prueba	
Voltaje de alimentación al microcontrolador del subsistema A	7 V
Número de prendas enviado desde el subsistema C al subsistema A	<i>Para 90 prendas el sistema dosificó:</i> <i>180 g de soda cáustica</i> <i>300 g de peróxido de hidrógeno</i> <i>200 g de ácido acético</i>
Prueba de funciones realizadas en la prueba 11.2.1	<i>Se realizaron las mismas pruebas arrojando los siguientes resultados:</i> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Válvula de salida de líquido abierta por 2 minutos</i> - <i>Válvula de salida de líquido abierta mientras la cantidad en la báscula tuvo un peso inferior a 500g</i> - <i>Válvula de entrada a la lavadora se abrió cuando el peso en la báscula supero los 167 g</i>

14.7 Integración subsistemas C (IHM), D (alimentación), A (líquidos) y B (sólidos)

La Tabla 46 presenta el formato diligenciado en la evaluación de funcionamiento de integración de los subsistemas C, D, A y B.

Tabla 46. Ejecución pruebas de integración C, D, A y B

Descripción	Se evaluará que el subsistema de alimentación ponga en funcionamiento el subsistema B, además que entre el subsistema C y el subsistema B exista comunicación. Finalmente, que el subsistema B realice las funciones requeridas en la prueba 11.2.2 de igual forma a como las realizó antes de la integración
Personal necesario	Estudiante
Tiempo de la prueba	30 minutos
Equipo necesario	Multímetro - PC
Prueba	
Voltaje de alimentación al microcontrolador del subsistema B	7 V
Número de prendas enviado desde el subsistema C al subsistema B	<i>90 prendas, cantidades de sólidos dosificadas:</i> <i>Tinta: 4000 g</i> <i>Sulfuro de sodio: 6000 g</i> <i>Sal industrial: 8000 g</i>
Prueba de funciones realizadas en la prueba 11.2.2	<i>Se realizaron las mismas pruebas que en el subcapítulo 14.2 arrojando los siguientes resultados:</i> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Indicador de nivel encendido para producto inferior a 5 kg</i> - <i>Indicador de nivel apagado para producto superior a 5 kg</i> - <i>Servomotor dosificando mediante giros en posiciones 0 y 180 grados</i>

14.8 Integración sistema completo

La Tabla 47 presenta el formato diligenciado correspondiente a las pruebas ejecutadas para la evaluación de funcionamiento del sistema completo.

Tabla 47. Ejecución de pruebas, integración del sistema

Descripción	Se evaluará el sistema integrado completo para una cantidad de 40, 60 y 90 prendas. El subsistema debe dosificar las cantidades de producto de forma adecuada y en los tiempos estipulados en el proceso.
Personal necesario	Estudiante
Tiempo de la prueba	90 minutos
Equipo necesario	Multímetro - PC
Prueba	
Soda cáustica	<p><i>Cantidad: 40 prendas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Orden de dosificación: 1</i> - <i>Cantidad dosificada: 80 g</i> <p><i>Cantidad: 60 prendas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Orden de dosificación: 1</i> - <i>Cantidad dosificada: 130 g</i> <p><i>Cantidad: 90 prendas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Orden de dosificación: 1</i> - <i>Cantidad dosificada: 200 g</i>
Tinta	<p><i>Cantidad: 40 prendas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Orden de dosificación: 3</i> - <i>Cantidad dosificada: 1700 g</i> <p><i>Cantidad: 60 prendas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Orden de dosificación: 3</i> - <i>Cantidad dosificada: 2500 g</i> <p><i>Cantidad: 90 prendas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Orden de dosificación: 3</i> - <i>Cantidad dosificada: 3800 g</i>
Sulfuro de sodio	<p><i>Cantidad: 40 prendas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Orden de dosificación: 2</i> - <i>Cantidad dosificada: 2500 g</i> <p><i>Cantidad: 60 prendas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Orden de dosificación: 2</i> - <i>Cantidad dosificada: 3800 g</i> <p><i>Cantidad: 90 prendas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Orden de dosificación: 2</i>

	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad dosificada: 5700 g
Sal industrial	<p>Cantidad: 40 prendas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Orden de dosificación: 4 - Cantidad dosificada: 3400 g <p>Cantidad: 60 prendas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Orden de dosificación: 4 - Cantidad dosificada: 5000 g <p>Cantidad: 90 prendas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Orden de dosificación: 4 - Cantidad dosificada: 7600 g
Peróxido de hidrogeno	<p>Cantidad: 40 prendas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Orden de dosificación: 5 - Cantidad dosificada: 140 g <p>Cantidad: 60 prendas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Orden de dosificación: 5 - Cantidad dosificada: 200 g <p>Cantidad: 90 prendas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Orden de dosificación: 5 - Cantidad dosificada: 300 g
Ácido acético	<p>Cantidad: 40 prendas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Orden de dosificación: 6 - Cantidad dosificada: 80 g <p>Cantidad: 60 prendas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Orden de dosificación: 6 - Cantidad dosificada: 130 g <p>Cantidad: 90 prendas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Orden de dosificación: 6 - Cantidad dosificada: 200 g

15 AJUSTES

Es proyecto no presentó ajustes debidos a la situación contractual, la implementación y el prototipo se realizarán con los objetivos y requerimientos planteados inicialmente.

16 MANUALES

El manual de uso del sistema para los operarios de este se presenta en el anexo 21.5.

17 RESULTADOS

Los resultados del funcionamiento del sistema están divididos en dos subsecciones: resultados de objetivos y resultados de requerimientos.

En cuanto a los objetivos, se verificarán propiamente los objetivos específicos ya que depende de ellos que el objetivo general se cumpla a cabalidad. A continuación, en la Tabla 48. Se presenta el formato de resultados para cada uno de los objetivos específicos planteados al inicio del proyecto.

Tabla 48. Resultados de objetivos

OBJETIVO	CUMPLE	NO CUMPLE	PARCIAL	OBSERVACIÓN
Definir el proceso para dosificación y pesaje	X			Proceso definido en el capítulo de definición del problema y ANEXO 21.1
Diseñar un prototipo para el sistema a implementar	X			Diseño realizado en los capítulos 9 y 10 del documento
Elaborar el plan de pruebas del sistema a implementar	X			Plan de pruebas realizado en el capítulo 11 del documento
Implementar el prototipo del sistema			X	La implementación electrónica se completó al 100%, falta integración mecánica del subsistema E
Elaborar los manuales de usuario del sistema	X			El manual se realizó en el capítulo 16 del documento y se presentó en el ANEXO 21.5

En la Tabla 49. Se presenta el formato de resultados para los requerimientos planteados en el proyecto.

Tabla 49. Resultados de requerimientos

REQUERIMIENTO	CUMPLE	NO CUMPLE	PARCIAL	OBSERVACIÓN
Voltaje de operación de 120 V AC ~ 60 Hz	X			
Acople de potencia de 120 V AC a 12, 7 y 5 V DC	X			
Válvula de paso de agua controlada por voltaje	X			
Sensor de nivel de agua dentro de la lavadora			X	El sensor de nivel electrónicamente implementado, no se intervino la lavadora
Válvula de paso de vapor controlada por voltaje	X			
Sensor de temperatura dentro de la lavadora			X	Sensor electrónicamente implementado, no se intervino la lavadora.
Dosis de 100g entregada por dosificador se solidos (sal industrial)	X			
Dosis de 100g entregada por dosificador se solidos (sulfuro de sodio)	X			
Dosis de 100g entregada por dosificador se solidos (tinta)	X			
Dosificación de líquido soda cáustica al 0.3% del peso total de las prendas a tinturar	X			Variación inferior a 5g, indicada en requerimientos de calidad
Dosificación de líquido ácido acético al 0.3% del peso total de las prendas a tinturar	X			Variación inferior a 5g, indicada en requerimientos de calidad
Dosificación de líquido peróxido de hidrógeno al 0.5% del peso total de las prendas a tinturar	X			Variación inferior a 5g, indicada en requerimientos de calidad
Almacenaje de al menos 25 Kg para cada uno de los productos sólidos	X			
Almacenaje de al menos 5 L para cada uno de los productos líquidos	X			
Almacenaje de cada uno de los productos en un subsistema diferente	X			
Información de cantidad de ropa recibida por la IHM	X			
Cálculo de cantidades necesarias de cada producto para una cantidad dada de ropa a tinturar	X			
CPU encargada de recibir información y tomar decisiones para que los demás subsistemas actúen	X			
Procesamiento de señales igual o superior a 4 MHz	X			Los microcontroladores tienen un oscilador de 16 MHz
Reloj encargado de controlar los tiempos del sistema	X			Implementado en el subsistema C

18 DISCUSIÓN

La solución adaptada para realizar la dosificación de los productos químicos de forma ordenada y correcta funciona y puede ser aplicada para dar corregir el problema tanto de gastos en instrumentos para realizar la dosificación manual de los productos como para mitigar el contacto del personal que opera la lavadora industrial con los productos químicos.

A nivel electrónico se alcanzó una implementación del 100% de los componentes, por medio de las pruebas se verificó que cada uno de los subsistemas como: alimentación, control de dosificación de líquidos, control de dosificación de sólidos e IHM funciona de acuerdo con los requerimientos establecidos en el proyecto.

El subsistema de alimentación funciona correctamente con un voltaje comercial de 120 V AC ~ 60 Hz y realiza el acople de potencia a voltajes DC de 12, 7 y 5 V con el fin de que los componentes electrónicos puedan funcionar correctamente de acuerdo a sus parámetros de operación.

En cuanto el funcionamiento del sistema, no solo se limita a la dosificación de los productos químicos tanto sólidos como líquidos, sino que además tiene la capacidad de controlar el paso y nivel de agua, la temperatura y el paso de vapor dentro de la lavadora, adicionalmente, también permite el control on-off del motor de la misma.

Por otro lado, y como se mencionó anteriormente, el sistema cumple los requerimientos de funcionamiento siguiendo el siguiente proceso:

La IHM se encarga de recibir la información de cantidad de ropa a tinturar en el proceso y de mostrar las demás etapas del proceso como el llenado de la lavadora o la temperatura interna de esta.

El subsistema de dosificación de productos líquidos implementado permite almacenar hasta 10 Gal de cada producto líquido (en los requerimientos se pedía hasta 5 Gal de almacenaje), ya sea soda cáustica, ácido acético o peróxido de hidrógeno; además, calcula la cantidad de producto que debe dosificar de acuerdo con la cantidad de prendas a tinturar y en el momento en que recibe la orden del controlador realiza la dosificación del producto indicado.

El subsistema de dosificación de sólidos implementado, al igual que con el subsistema de dosificación de líquidos, permite almacenar hasta 35 Kg de producto sólido (en los requerimientos se pedía un almacenaje de hasta 25 Kg), ya sea sal industrial, sulfuro de sodio o tinta; además, calcula la cantidad de producto que debe dosificar de acuerdo con la cantidad de prendas a tinturar y en el momento que recibe la orden por parte del controlador realiza la dosificación del producto indicado.

Al final del proyecto y por la situación contractual en la que nos encontramos no solo en Colombia sino a nivel mundial (pandemia por COVID-19), no fue posible la intervención de la lavadora industrial, dado que este proceso implica una detención temporal de la máquina en un periodo de estabilización económica, lo que implicaría un costo muy alto para la empresa, sin embargo, se fijó una fecha de intervención con el personal interno para que antes de final de año se pueda realizar la integración del sistema, el cual ya se encuentra probado y su funcionamiento ha sido verificado para que, de esta forma se termine el proyecto en un 100%.

19 CONCLUSIONES

El prototipo implementado cumple con los requerimientos y objetivos de funcionamiento planteados en el principio del documento, la solución al problema propuesta recibe la cantidad de ropa a tinturar y de acuerdo con esta información calcula las dosis de producto químico que debe suministrar a la lavadora industrial y en los tiempos indicados para que esta pueda realizar el proceso de tintura de forma adecuada.

Además, y como un valor agregado al prototipo debido a que en un principio solo se proyectaba implementar un sistema de dosificación de producto químico tanto sólido como líquido, el sistema tiene la funcionalidad para controlar el paso de agua hacia la lavadora e indicar cuando se ha llegado al nivel correcto de líquido en la máquina. Además, también tiene un subsistema que permite medir la temperatura dentro de la lavadora y controlar el paso o no de vapor hacia ella para que el proceso de tintura se realice en el rango de calor correcto, por otro lado, realiza el control on-off del motor de la lavadora industrial, logrando de esa manera no solo automatizar el proceso de dosificación de producto químico sino lograr todo el proceso de tintura de ropa controlado de forma automática y controlada.

Como se mencionó en el capítulo anterior, debido a factores externos como lo son la situación contractual en la que nos encontramos en el mundo, para la empresa es muy complicado detener sus procesos productivos en este momento de reactivación económica y por tal motivo no fue posible intervenir la máquina (lavadora industrial), sin embargo, se les hace entrega de un producto probado y funcional que soluciona la problemática encontrada y queda en compromiso de que en el momento que se indique se realizará la implementación completa del sistema.

A futuro, partiendo del funcionamiento del prototipo implementado y con el fin de cubrir la necesidad de trabajo de las 9 lavadoras industriales presentes en la compañía, se podría realizar una implementación la cual cuente con dispositivos más robustos como por ejemplo: un PLC (controlador lógico programable) para el control y la lógica de los procesos en cada una de las lavadoras, también una RTU (unidad terminal remota) que se encargue de recibir la información y las señales de cada uno de los procesos. También un sistema de comunicación idealmente SCADA (Supervisión, control y adquisición de datos) que verifique y cumpla con un protocolo de comunicación eficiente, estable y segura para el sistema, entre otros dispositivos. Con esto se podría automatizar todo el proceso de tintura de la compañía y se llegaría a una solución ajustada a normativa industrial de la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) del problema planteado en el proyecto.

20 REFERENCIAS DOCUMENTALES

[1]G. MCR, "¿Que es la dosificación industrial?: Los sistemas de dosificación", *MCR*, 2018. [Online]. Available: <https://www.mcr.es/que-es-la-dosificacion-industrial/>. [Accessed: 10- Oct- 2019].

[2]"Dosificador de solidos DMS 50-2 / 1280-800", *Mcr.es*, 2018. [Online]. Available: <https://www.mcr.es/wp-content/uploads/2018/03/C002-Dosificador-solidos-V10.0-2015-08-31-ESP-Pag.-1-2.pdf>. [Accessed: 15- Oct- 2019].

[3]"Dosificador sinfín DS-1", 1st ed. Valencia. [Online]. Available: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/2790/DS-1.pdf. [Accessed: 15- Oct- 2019].

[4]D. J. Lancheros-Cuesta, D. R. Suarez and L. H. Gordo, "Solid dosing system for feeding dogs with remote communication module," 2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Aveiro, 2015, pp. 1-5, doi: 10.1109/CISTI.2015.7170442.

[5]"Serial.read() - Arduino Reference", *Arduino.cc*, 2020. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/read/>. [Accessed: 06- Oct- 2020].

[6]"Serial.write() - Arduino Reference", *Arduino.cc*, 2020. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/write/>. [Accessed: 06- Oct- 2020].

21 ANEXOS

En las secciones a continuación se muestran los anexos del documento.

21.1 Diagrama de flujo del proceso de tinturado de ropa.

En la figura 40 se presenta el diagrama de flujo correspondiente al proceso de tintura de ropa negra.

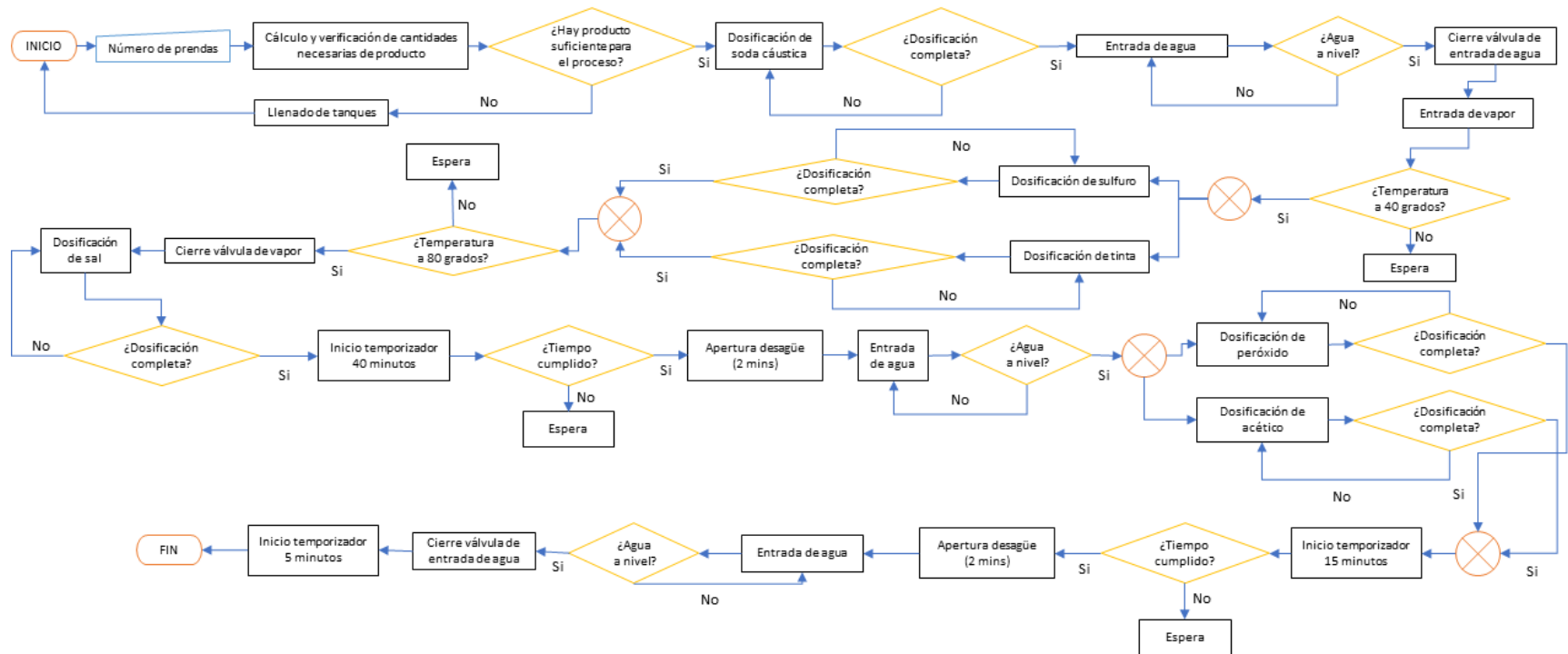


Figura 45. Diagrama de flujo tinturado de ropa

21.2 Esquemático del sistema

En la Figura 41. Se presenta el esquemático del sistema.

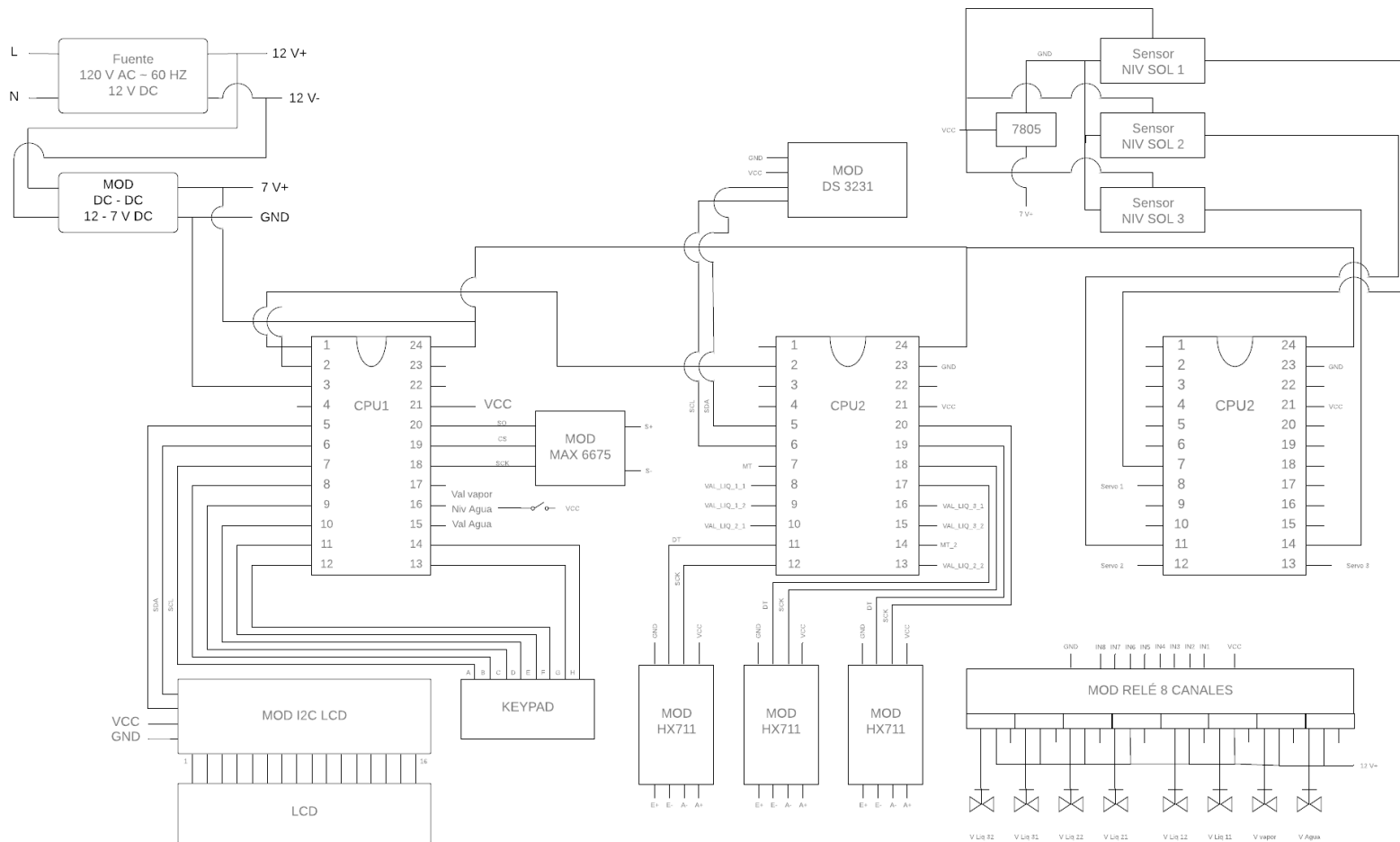


Figura 46. Esquemático del sistema

21.3 Código en C++ microcontrolador principal

A continuación, se presenta el código implementado en el controlador principal del sistema.

```
// Libraries needed

#include <LiquidCrystal_I2C.h> // LCD library
#include <Wire.h> // I2C Communication
#include <Keypad.h> // Keypad library

#include <max6675.h>

// DISPLAY CONFIGURATION

#define WIDTH 16 // Display width in PX
#define HEIGHT 2 // Display height in PX

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,WIDTH,HEIGHT); // LCD OBJECT WITH PARAMS STABLISHED BEFORE

// KEYPAD CONFIGURATION

const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;
char keys[ROWS][COLS] = { // Keypad distribution
    {'1','2','3','A'},
    {'4','5','6','B'},
    {'7','8','9','C'},
    {'*','0','#','D'}
};

byte rowPins[ROWS] = {8,9,10,16}; // Row pins
byte colPins[COLS] = {4,5,6,7}; // Col pins

// Keypad Object
Keypad keypad_pr = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);

char KEY; // almacena la tecla presionada
```

```
String CLOTHES;

// WATER

#define VALVE_WATER 14
#define LEVEL_WATER 15
#define VALVE_VAPE A0

bool first_filled = false;
bool water_warmed = false;
bool second_filled = false;
bool third_filled = false;

int ktcSO = A3;
int ktcCS = A2;
int ktcCLK = A1;

MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO);

// FUNCTIONS

void showDisplay(String number = "");
void showProcess(String str_one = "", String str_two = "");
bool fillWasher(int clothes = 0);
void showWarmProcess(double c);
bool warm_water();

int tx = 1;
int rx = 0;
int dato = 0;

bool first_phase = false;
bool second_phase = false;
bool third_phase = false;

void setup() {
    Wire.begin();
    showDisplay();
```

```
pinMode (VALVE_WATER, OUTPUT);
pinMode (LEVEL_WATER, INPUT);
pinMode (VALVE_VAPE, OUTPUT);

Serial1.begin(9600);
delay(500);
}

void loop() {
  lcd.display();
  digitalWrite (VALVE_WATER, HIGH);
  digitalWrite (VALVE_VAPE, HIGH);
  delay(50);

  while(first_phase != true){
    KEY = keypad_pr.getKey();
    if (KEY){
      if(KEY != 'A' && KEY != 'B' && KEY != '*'){
        CLOTHES = String(CLOTHES + KEY);
        showDisplay(CLOTHES);
      }else{
        if(KEY == 'A'){
          int value = CLOTHES.toInt();
          first_filled = fillWasher(value);
          water_warmed = warm_water();
          first_phase = true;
        }else{
          if(KEY == 'B'){
            CLOTHES = "";
            showDisplay(CLOTHES);
          }else{
            exit(0);
          }
        }
      }
    }
  }
}
```

```
while(second_phase != true){
    showProcess("Desague completo", "A:SI");
    KEY = keypad_pr.getKey();
    if(KEY){
        if(KEY == 'A'){
            second_filled = fillWasher(2);
            second_phase = true;
        }
    }
}

while(third_phase != true){
    showProcess("Desague completo", "A:SI");
    KEY = keypad_pr.getKey();
    if(KEY){
        if(KEY == 'A'){
            third_filled = fillWasher(3);
            third_phase = true;
        }
    }
}

}

void showDisplay(String number = ""){
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("# de prendas: ");
    lcd.setCursor(14, 0);
    lcd.print(number);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("A:Ok B:Borrar");
    lcd.display();
}
```

```
void showProcess(String str_one = "", String str_two = ""){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(str_one);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(str_two);
    lcd.display();
}

bool fillWasher(int clothes = 0){
    showProcess("Llenando", "Lavadora");

    if( clothes != 0 && clothes != 2){
        Serial1.write(clothes);
    }

    while(digitalRead(LEVEL_WATER)){
        digitalWrite(VALVE_WATER, LOW);
    }

    digitalWrite(VALVE_WATER, HIGH);

    // Dosificación Peroxido y Acético
    if( clothes == 2){
        Serial1.write(102);
    }

    // Exprimido
    if( clothes == 3){
        Serial1.write(301);
    }

    return true;
}

void showWarmProcess(double c){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
```

```
    lcd.print("Temp: " + String(c));
    lcd.display();
}

bool warm_water(){
    // Dosificar Soda cáustica
    Serial1.write(101);
    double celsius = ktc.readCelsius();
    delay(100);

    bool sendInk = false;

    while(celsius <= 80){
        // Apertura válvula de vaor
        digitalWrite(VAIVE_VAPE, LOW);
        showWarmProcess( celsius );

        if(sendInk != true){
            if( celsius >= 40 && celsius <= 45 ){
                // Dosificar Tinta y Sulfuro
                Serial1.write(201);
                sendInk = true;
            }
        }

        celsius = ktc.readCelsius();
        delay(1000);
    }

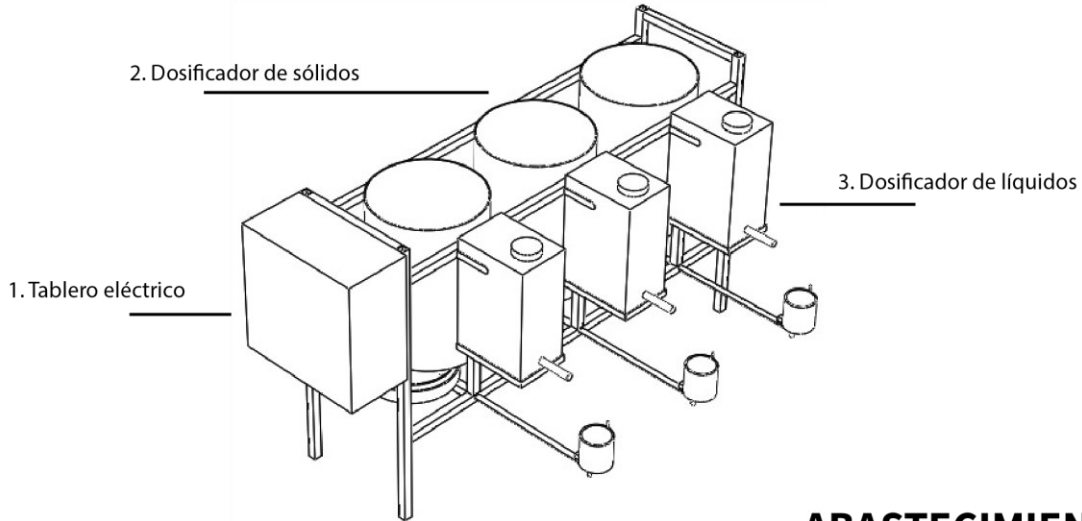
    digitalWrite(VAIVE_VAPE, HIGH);
    // Dosificar Sal
    Serial1.write(203);
    return true;
}
```

21.4 Manual de usuario

Este manual (Figura 47) está destinado a la persona que se encargara de operar el sistema para realizar el tinturado de ropa, en caso de necesitar algún tipo de ayuda técnica ya sea de tipo mecánico o electrónico, se debe acudir a la persona que diseño e implementó el sistema.

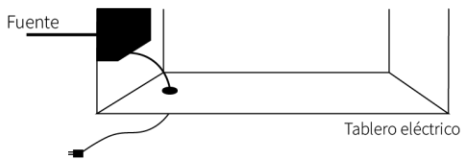
PROTOTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA DOSIFICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS A LAVADORAS INDUSTRIALES EN TINTORERÍAS

MANUAL DE USUARIO



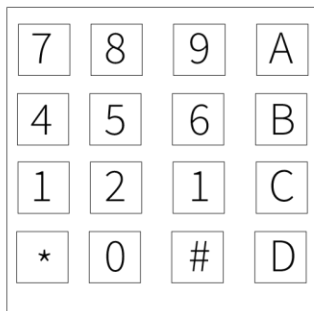
FUNCIONAMIENTO

1. El sistema funciona con una alimentación comercial de 120 VAC a 60 Hz. Para ponerlo en funcionamiento conéctelo a una fuente eléctrica convencional desde el cable que sale del tablero eléctrico.



2. Para iniciar el proceso, el sistema por medio de la IHM le pedirá al usuario que ingrese la cantidad de prendas que se van a tinturar, una vez ingresada la información, se debe presionar la tecla 'A' para confirmar e iniciar el proceso. Si se desea corregir la información ingresada se debe presionar la tecla 'B'

de prendas:
A:Ok B: Borrar

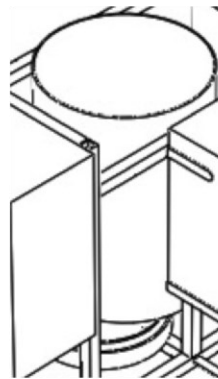


ABASTECIMIENTO

1. Para la carga de sólidos se debe retirar la tapa del contenedor del recipiente en el que se encuentre el producto que se desea recargar.

Una vez finalizada la recarga del producto se debe poner la tapa como se encontraba en un principio.

Cada contenedor tiene la capacidad de almacenar hasta 25 Kg de producto.



2. La carga de los productos líquidos se realiza de la misma manera que con los productos sólidos, se debe retirar la tapa del contenedor del producto que se desea recargar.

Una vez recargado el contenedor se debe colocar la tapa para que este vuelva al estado inicial.

Cada contenedor tiene la capacidad de almacenar hasta 10 galones de producto líquido.

IMPORTANTE: En caso de necesitar ayuda técnica frente al funcionamiento, mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo del sistema, se debe comunicar con JUAN NICOLÁS MALAGÓN (Ingeniero a cargo del desarrollo del sistema).

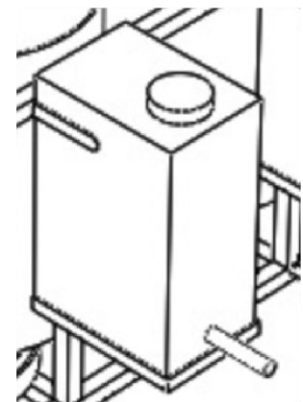


Figura 47. Manual de usuario del sistema