



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**Implementación de un sistema de dosificación para el  
lavado manual en una central de esterilización**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

**AUTOR**

Carlos Jose DELGADO GUTARRA

**ASESOR**

Fernando Ernesto PÉREZ VALLADARES

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Delgado, C. (2022). *Implementación de un sistema de dosificación para el lavado manual en una central de esterilización*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Carlos Jose Delgado Gutarra
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74694979
URL de ORCID	No Aplica
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Fernando Ernesto Pérez Valladares
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	15669309
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-1261-2832">https://orcid.org/0000-0003-1261-2832</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Luque Gamero Salomón Arístides
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07960620
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Teófilo Matías Huablocho Pérez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	25420840
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Carlos Alberto Sotelo Lopez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07017259
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	C.0.6.3 Instrumentación Biomédica
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	Autofinanciado

Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Torre Real Blu Building II País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Miraflores Centro poblado: No aplica Calle: C. Coronel Inclán 237 Latitud: -12.1169466 Longitud: -77.0313552
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2019 - Marzo 2019
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería Electrónica <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01</a>  Robótica, Control automático <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.02</a>  Ingeniería médica <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.06.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.06.01</a>



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA  
Teléfono 619-7000 Anexo 4226  
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL Nº 015/FIEE-EPIE/2022

Los suscritos Miembros del Jurado, nombrados por la Comisión Ejecutiva del Programa de Perfeccionamiento Profesional de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha, Bajo La Presidencia Del **Ing. Luque Gamero, Salomon Aristides** integrado por **Ing. Huablocho Perez, Teofilo Matias** y el **Mg. Sotelo Lopez, Carlos Alberto**.

Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional del **Bach. DELGADO GUTARRA, CARLOS JOSE** con código Nº **12190093** que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó su Trabajo de Suficiencia Profesional titulada **"IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓN PARA EL LAVADO MANUAL EN UNA CENTRAL DE ESTERILIZACION"**

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió **aprobar** otorgándole el calificativo de diecisiete (17)

Ciudad Universitaria, 30 de mayo del 2022

**Ing. Luque Gamero, Salomon Aristides**  
Presidente de Jurado

**Ing. Huablocho Perez, Teofilo Matias**  
Miembro de Jurado

**Mg. Sotelo Lopez, Carlos Alberto**  
Miembro de Jurado

## RESUMEN

El proceso de trabajo de una central de esterilización parte en la zona roja, donde el principal objetivo es la desinfección. Realizar de manera correcta y eficiente el lavado del instrumental quirúrgico es fundamental para evitar la programación de enfermedades. En la actualidad, aún existen varios establecimientos de salud que desinfectan el instrumental quirúrgico mediante el lavado manual. Este método es el de menor eficiencia en comparación con otros métodos existentes y esto se debe a que no existe un control automatizado para la dosificación del detergente enzimático, quien es el principal responsable de la desinfección del instrumental.

Cada fabricante de detergente enzimático posee diferentes niveles de dosificación. Así podemos encontrar en el mercado, detergentes con niveles de dosificación desde 2 ml/l hasta 15 ml/l. A su vez, estos recomiendan emplear los niveles de dosificación precisa para garantizar la correcta desinfección del instrumental en el proceso de lavado manual. Esta investigación, desarrolla un sistema de dosificación de detergente enzimático que suministra de manera exacta y eficiente la dosis sugerida del compuesto al momento de realizar el lavado manual, para reducir los riesgos que originan una mala praxis de este proceso y a la vez disminuir el consumo innecesario del detergente.

**Palabra clave:** Central de esterilización, lavado manual, instrumental quirúrgico, detergente enzimático, desinfección.

## ABSTRACT

The work process of a sterilization center starts in the red zone, where the main objective is disinfection. Performing the correct and efficient washing of surgical instruments is essential to avoid the programming of diseases. Currently, there are still several health establishments that disinfect surgical instruments by manual washing. This method is the least efficient compared to other existing methods and this is due to the fact that there is no automated control for the dosage of the enzymatic detergent, which is the main responsible for the disinfection of the instruments.

Each manufacturer of enzymatic detergent has different dosage levels. Thus we can find in the market, detergents with dosage levels from 2 ml/l to 15 ml/l. In turn, these recommend using precise dosage levels to guarantee the correct disinfection of instruments in the manual washing process. This research develops an enzymatic detergent dosing system that accurately and efficiently supplies the suggested dose of the compound at the time of manual washing, to reduce the risks that cause malpractice of this process and at the same time reduce unnecessary consumption. of the detergent.

**Keywords:** Sterilization center, manual washing, surgical instruments, enzymatic detergent, disinfection.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>2</b>
<b>INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLO LA ACTIVIDAD 2</b>	
2.1. Institución donde se desarrolló la actividad .....	2
2.2. Periodo de duración de la actividad .....	2
2.3. Finalidad y objetivos de la entidad.....	2
2.4. Razón social.....	3
2.5. Dirección postal.....	3
2.6. Correo electrónico del profesional a cargo .....	3
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>4</b>
<b>DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD</b> .....	<b>4</b>
3.1. Descripción de la realidad del problema.....	4
3.2. Objetivos de la actividad .....	7
3.2.1. Objetivo principal .....	7
3.2.2. Objetivos secundarios .....	7
3.3. Problemática .....	7
3.3.1. Problemática general.....	7
3.3.2. Problemas específicos .....	7

3.3.3. Justificación .....	8
3.4. Metodología.....	8
3.4.1. Bases teóricas .....	8
3.4.2. Marco conceptual .....	9
3.5. Procedimiento .....	13
3.5.1. Principales características del diseño de exposición .....	13
3.5.2. Componentes empleados en la implementación. ....	14
3.5.3. Desarrollo del código del sistema de dosificación .....	20
3.5.4. Implementación del circuito .....	30
3.6. Resultado de la actividad .....	38
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>45</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>45</b>
4.1. Metodología aplicada .....	45
4.1.1. Tipo de investigación.....	45
4.1.2. Diseño de la investigación.....	45
4.2. Discusión de resultados .....	46
4.3. Conclusiones.....	46
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>48</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO VII .....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>51</b>

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Distribución de pines del módulo buzzer.....</i>	18
<i>Tabla 2. Conexiones pin a pin entre el módulo I2C y el Arduino nano V3....</i>	30
<i>Tabla 3. Conexiones entre el módulo IRF520 y el Arduino nano V3. ....</i>	32
<i>Tabla 4. Arreglo de Leds. ....</i>	34
<i>Tabla 5. Conexión entre el módulo buzzer y el Arduino nano V3. ....</i>	35
<i>Tabla 6. Configuración del teclado matricial. ....</i>	36
<i>Tabla 7. Conexiones pin a pin del Arduino nano V3.....</i>	36

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diagrama de un sistema de control.</i> Fuente: Introducción a los sistemas de control (Hernández, 2010). .....	10
<i>Figura 2. Arduino Nano V3.</i> Fuente: Elaboración propia.....	15
<i>Figura 3. Teclado matricial.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	15
<i>Figura 4. Pantalla LCD.</i> Fuente: Elaboración propia.....	16
<i>Figura 5. Módulo de interfaz I2C.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	17
<i>Figura 6. Módulo buzzer para Arduino.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	17
<i>Figura 7. Módulo MOSFET IRF520.</i> Fuente: Elaboración propia .....	18
<i>Figura 8. Distribución de pines del módulo IRF520.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	19
<i>Figura 9. Mini bomba - modelo R385.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	19
<i>Figura 10. Sensor de flujo - modelo: YF-S401.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	20
<i>Figura 11. Conexiones entre la pantalla LCD y el módulo de interfaz I2C.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	30
<i>Figura 12. Módulo de interfaz I2C.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	31
<i>Figura 13. Módulo IRF520.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	31
<i>Figura 14. Conexión entre la mini bomba de diafragma y el módulo IRF520.</i> Fuente: Elaboración propia.....	32
<i>Figura 15. Conexión de la fuente externa de 12 V.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	33
<i>Figura 16. Arreglo de Leds.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	34
<i>Figura 17. Módulo buzzer.</i> Fuente: Elaboración propia.....	35
<i>Figura 18. Conexiones pin a pin del Arduino Nano V3.</i> Fuente: Elaboración propia .....	37
<i>Figura 19. Conexión entre la mini bomba y el sensor de flujo.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	37
<i>Figura 20. Circuito final.</i> Fuente: Elaboración propia.....	38

<i>Figura 21. Pantalla de Bienvenida.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	39
<i>Figura 22. Activación del 1er LED.</i> Fuente: Elaboración propia.....	39
<i>Figura 23. Pantalla de inicio.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	40
<i>Figura 24. Interfaz de introducción de datos.</i> Fuente: Elaboración propia. .....	40
<i>Figura 25. Interfaz de confirmación de inicio de proceso.</i> Fuente: Elaboración propia.....	41
<i>Figura 26. Activación del 2do LED.</i> Fuente: Elaboración propia.....	41
<i>Figura 27. Interfaz de confirmación de nuevo proceso.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	42
<i>Figura 28. Activación del 3er LED.</i> Fuente: Elaboración propia.....	43
<i>Figura 29. Interfaz de dosificación de detergente.</i> Fuente: Elaboración propia. ....	43
<i>Figura 30. Activación 4to LED.</i> Fuente: Elaboración propia.....	44

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Existen tres metodologías para realizar el lavado del instrumental quirúrgico en una central de esterilización. De los tres métodos, el lavado manual es el de menor eficiencia en comparación con los demás.

En la actualidad, aún existen establecimientos de salud que emplean este método para la desinfección de su instrumental y no emplean ningún sistema para poder medir y controlar la dosificación del detergente enzimático, quien es el principal agente de desinfección en este proceso.

Todos los detergentes enzimáticos poseen diferentes niveles de dosificación, los cuales son determinados por el fabricante de estos. Estos niveles de dosificación se deben respetar para que el proceso del lavado manual se realice con total eficiencia y de esa manera no comprometer el desarrollo de los demás procesos de la central de esterilización, por lo tanto, este trabajo se enfocará en desarrollar un sistema automatizado de dosificación de detergente enzimático para el lavado manual de instrumental quirúrgico, de esta manera, se reducirá los problemas que conllevan una mala dosificación y se evitará el reprocesado del instrumental quirúrgico que genera sobrecostos en la central de esterilización.

## **CAPITULO II**

### **INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLO LA ACTIVIDAD**

#### **2.1. Institución Donde Se Desarrolló la Actividad**

Las actividades vistas en el presente trabajo se realizaron en la empresa Trademedic SAC.

#### **2.2. Periodo De Duración de la actividad**

El presente trabajo se desarrolló durante el periodo de enero 2019 – marzo 2019.

#### **2.3. Finalidad y Objetivos de la Entidad**

La empresa Trademedic tiene como finalidad ser una empresa líder en proveer soluciones medicas avanzadas con un alto nivel de innovación, cobertura, participación y rentabilidad. Sus objetivos son satisfacer las necesidades de sus clientes, a través de la calidad, servicio y competitividad manteniendo alianzas solidas con sus proveedores.

## **2.4. Razón Social**

La razón social de la empresa donde se realizó las actividades del presente trabajo es Trademedic S.A.C.

## **2.5. Dirección Postal**

La dirección postal de Trademedic S.A.C. es Calle coronel Joaquín Inclán nro. 237 Int. 612 urbanización Surquillo, en el distrito de Miraflores, provincia de Lima, departamento de Lima.

## **2.6. Correo Electrónico del Profesional a Cargo**

jsanches@trade-medic.com



## **CAPÍTULO III**

### **DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD**

#### **3.1. Descripción de la realidad del problema**

La central de esterilización es la encargada del control de infecciones de cualquier institución (hospitales, clínicas, entre otros) orientada al sector salud. La función principal de la central es la desinfección, esterilización y almacenaje de los instrumentos quirúrgicos. Dentro de la central existen tres áreas sumamente diferenciadas entre sí, tanto vista desde un punto funcional como desde un punto estructural. El flujo de trabajo dentro de la central es unidireccional es decir que el material que se recibe en el área debe desarrollar un determinado proceso pasando por cada una de las áreas. El comienzo del proceso dentro de una central de esterilización tiene presencia en el área roja, que es el área encargada de la recepción y desinfección de los instrumentos quirúrgicos. En esta área se desarrolla el proceso de desinfección mediante el lavado de los instrumentos.

En la actualidad existen tres métodos de lavado para instrumental quirúrgico: el lavado ultrasónico, el cual se realiza con el uso de lavadoras ultrasónicas, el lavado mecánico, que se realiza mediante el uso de lavadoras termo-desinfectoras, y el lavado manual, que es realizado por el personal capacitado de la central de esterilización. Siendo de estos tres métodos mencionados; el lavado manual, el método con menor eficiencia en comparación con las tecnologías actuales de los otros métodos.

En el lavado manual, el agente que garantiza la desinfección del instrumental quirúrgico es el detergente. Por ende, la efectividad de la desinfección del material después del proceso de lavado manual depende sustancialmente de la calidad del detergente y sobre todos de la dosis

suministrada de este en la solución donde se sumerge el instrumental durante el proceso.

Essalud (2016) publicó un artículo denominado Normas y procedimientos de la central y unidad de esterilización del seguro social de salud, con el cual buscaba estandarizar los procedimientos que se realizan dentro de las diferentes áreas de una central de esterilización. Es decir, establecer los pasos que se deben seguir en todos los procesos para garantizar la efectividad de los mismos. En el lavado manual, establece que es indispensable el uso de detergentes enzimáticos para todos los procesos desarrollados con este método, enfatizando que se debe respetar todas las indicaciones de sus respectivos fabricantes.

Cada fabricante de detergente enzimático maneja distintos valores de concentración de detergente, así podemos encontrar detergentes enzimáticos con valores de 2 ml/lit hasta 15 ml/lit, por lo cual realizar el cálculo apropiado de la cantidad necesaria de detergente (ml) es fundamental para garantizar que el proceso sea realizado de manera correcta, evitando casos de infección intrahospitalario por contacto de instrumentos quirúrgicos mal desinfectados.

Para la mayoría de las instituciones, como por ejemplo en el Hospital Nacional Cayetano Heredia donde realizan el lavado de instrumental quirúrgico de manera manual, tener un control adecuado de dosificación de detergente enzimático para los procesos de lavado manual es un problema muy difícil de resolver puesto que no cuentan con un sistema que les garantice que la inyección del detergente es la que el fabricante sugiere. Esto se traduce a que el usuario dosifica la cantidad de detergente que consideren apropiados para el proceso sin respetar la concentración que debe existir entre el agua y el detergente enzimático.

Al no contar con un sistema de dosificación, el usuario debe suministrar de manera manual el detergente a la solución donde se realizará el proceso de lavado de los instrumentales quirúrgicos; con lo cual, el usuario se ve obligado a una constante exposición innecesaria con el detergente enzimático que en algunas situaciones de exposición prolongadas podrían ocasionar reacciones alérgicas debido a sus compuestos enzimáticos existentes en su estructura.

La proteasa, una de las enzimas presentes en los detergentes enzimáticos que se encarga del desprendimiento de las proteínas del material quirúrgico, puede ocasionar irritación cutánea de nivel 2 (Getinge, 2015). La amilasa, otra enzima presente en los detergentes enzimáticos que se encarga de la remoción de grasas de los instrumentos, podría ocasionar sensibilidad respiratoria en los usuarios ante una exposición prolongada (Getinge, 2015), como, por ejemplo.

Debido a la carencia de un sistema que controle la cantidad de detergente enzimático necesario para el proceso de lavado, es muy común que la dosis suministrada sea menor a la requerida. Esto conlleva a que el detergente se diluya en una cantidad exagerada de agua, produciendo que este pierda sus propiedades químicas que a su vez conlleva a que el material al término del proceso no este desinfectado adecuadamente y se necesitara volver a realizar de nuevo todo el procedimiento de lavado. Esto no solo se convierte en pérdida de insumos (detergente enzimático, agua entre otros) sino en pérdida de tiempo porque se debe repetir todo el proceso. Por el contrario, en caso que el usuario dosifique una cantidad mayor a la necesaria, el detergente se diluirá con mayor dificultad con el solvente (que puede ser agua dura, osmótica u otro tipo de agua desionizada) lo cual originara que la solución se torne más viscosa y dificulte su acción sobre algunos tipos de instrumentos quirúrgicos en especial los canulados. También ocasionaría que el tiempo del proceso aumente considerablemente porque sería necesario emplear más tiempo en la etapa de enjuague para poder retirar eficientemente toda la solución sobre la superficie del instrumental quirúrgico; lo cual, una vez más se traduce a un desperdicio de insumos y tiempo que a largo plazo incrementa innecesariamente el costo del proceso.

## **3.2. Objetivos de la Actividad**

### ***3.2.1. Objetivo principal***

Mejorar el proceso de lavado manual en una central de esterilización mediante el diseño de un sistema de dosificación para detergentes enzimáticos.

### ***3.2.2. Objetivos secundarios***

- Disminuir de manera sustancial la probabilidad de riesgo de infección en el proceso de lavado manual en una central de esterilización.
- Disminuir el contacto directo entre los usuarios de una central de esterilización y los detergentes enzimáticos empleados en el lavado manual.
- Controlar la cantidad de detergente enzimático empleado en el lavado manual en una central de esterilización.

## **3.3. Problemática**

### ***3.3.1. Problemática General***

¿En qué medida el sistema de dosificación para detergentes enzimáticos mejorara el proceso de lavado manual?

### ***3.3.2. Problemas Específicos***

- ¿En qué medida el sistema de dosificación para detergentes enzimáticos puede disminuir la probabilidad de riesgos de infección en el proceso de lavado manual?

- ¿Cómo el sistema de dosificación para detergentes enzimático podrá disminuir el contacto entre los usuarios y los insumos?
- ¿Cómo se puede controlar la cantidad de detergente enzimático empleado para el proceso de lavado manual para una central de esterilización?

### **3.3.3. Justificación**

**3.3.3.1. Justificación teórica.** La investigación permitirá fundamentar teóricamente los problemas que ocurren al tener una dosificación de niveles erróneos de detergente enzimático en el lavado manual de instrumental quirúrgico que se realiza en una central de esterilización.

**3.3.3.2. Justificación práctica.** Los resultados de esta investigación ayudarán en los problemas que se presentan en el lavado manual porque establecerá el sistema de dosificación para detergentes enzimáticos a aplicar en este proceso con la finalidad de obtener resultados positivos y mejorar el proceso.

## **3.4. Metodología**

### **3.4.1. Bases Teóricas**

Pizarro (2013) en su tesis “Calidad de limpieza del Instrumental Quirúrgico realizado por el personal de enfermería Hospital Materno Infantil – Caja Nacional de Salud La Paz 2012”, afirma que es necesario dosificar la concentración de detergente enzimático indicada por el fabricante porque emplear concentraciones mayores a lo necesario solo implica desperdicio de detergente y pérdida de tiempo porque en la etapa de enjuague el usuario empleará más tiempo en la remoción del exceso del detergente de la superficie del instrumental quirúrgico. De caso contrario si se dosifica una

cantidad menor a la indicada, la acción de remoción del detergente enzimático no será eficiente en su totalidad.

Sarzosa (2013) en la investigación titulada “Estudio de un sistema de dosificación de líquidos aplicable en el laboratorio de sistemas de medición u control industrial para controlar el proceso de llenado de botellas”, que tiene como objetivo general determinar el sistema de dosificación de líquidos, plantea en sus conclusiones los componentes necesarios para el desarrollo de dicho sistema de dosificación. El concluye que el sistema debe estar compuesto por una fuente alimentación de líquido, sistema de control, sistema de presión y adicionalmente un sistema de posicionamiento de la boquilla de dosificación. Otra conclusión a la que llega en su estudio es la determinación de los parámetros del llenado de líquido, los cuales son: el tiempo de llenado y volumen de llenado. Datos de mucha importancia que se tendrán en cuenta al momento del desarrollo de nuestro sistema de dosificación.

Barrera y Santoyo (2013) en su trabajo de investigación denominado propuesta de automatización en la dosificación de químicos para la planta de tratamiento de agua potable en Vélez Santander realizan una propuesta desarrollada en PLC, empleando el lenguaje de programación ladder, para el control de dosificación de cloro y azufre. El control de la etapa de dosificación la realizan mediante el encendido y apagado de las válvulas que se encuentran conectadas a los suministros.

### **3.4.2. Marco conceptual**

**3.4.2.1. Sistema de control automático.** Un sistema de control automático es una interconexión de elementos que forman una configuración denominada sistema, de tal manera que el arreglo resultante es capaz de controlarse por sí mismo. (Hernández, 2010).

En otros términos, un sistema de control es una configuración que permite el control de las salidas mediante las entradas.

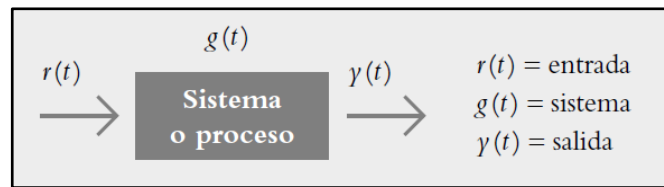


Figura 1. Diagrama de un sistema de control. Fuente: Introducción a los sistemas de control (Hernández, 2010).

**3.4.2.2. Arduino.** Es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino permiten la lectura de señales de ingreso como pulsadores, botoneras y sensores, con el objetivo de transformarlos en señales para el control de motores, control de Leds entre otras múltiples tareas.

Para realizar el control se emplea el lenguaje de programación Arduino y el software Arduino (IDE).

**3.4.2.3. Central de esterilización.** La central de esterilización (CE), por definición, es el servicio que recibe, acondiciona, procesa, controla y distribuye textiles (ropa, gasas, apósitos), equipamiento biomédico e instrumental a todos los sectores del hospital con el de proveer un insumo seguro para ser usado con el paciente. (Página 18, manual de esterilización centros de salud 2008).

La central de esterilización posee tres áreas sumamente diferenciadas entre sí. Cada área tiene una función específica, pero se complementan entre ellas. No solo se diferencian por la función que cumplen sino por su estructura y composición.

El ciclo de trabajo dentro de la central es unidireccional, es decir todo material recibido en la central debe seguir por un flujo predeterminado y estandarizado para evitar riesgos de infecciones intrahospitalarias. Este principio se cumple gracias a que todas las áreas se encuentran separadas por barreras sanitarias que impiden que el flujo del proceso se vea alterado.

### **A. Área Roja.**

Es el área de recepción, limpieza y descontaminación del material quirúrgico del hospital. Es el lugar donde comienza el flujo de trabajo unidireccional de la central de esterilización.

La función principal de esta área es la desinfección del material quirúrgico y/o equipamiento biomédico del hospital. Esta acción se lleva a cabo mediante el proceso de lavado, el cual se podría desarrollar por acción manual o mediante el uso lavadoras desinfectoras.

### **B. Área Azul**

Es el área de acondicionamiento, empaquetamiento, preparación y esterilización del material quirúrgico del hospital. El material quirúrgico que ingresa al área azul para continuar con el flujo de trabajo de la central debe haber sido procesado previamente en el área roja.

La función principal de esta área es la esterilización de los instrumentos quirúrgicos de la entidad hospitalaria. Esta acción se lleva a cabo mediante el uso de esterilizadores. En la actualidad existen varios tipos de esterilizadores, siendo el de mayor uso los esterilizadores a vapor.

### **C. Área verde**

Es el área de almacenado del material estéril. Es la última de las áreas del flujo de trabajo de una central de esterilización.

Su función principal es el almacenaje de los instrumentos quirúrgicos que previamente al pasado por el proceso de esterilización en el área azul, para que puedan ser distribuidos a las diferentes áreas del hospital.

**3.4.2.4. Lavado manual.** Es un procedimiento realizado por un operador, que procura la remoción de la suciedad por fricción aplicada sobre la superficie del material. Se lleva a cabo utilizando una solución de detergente enzimático, de preferencia con cepillo y agua (2002, MINSA).



Son varios los factores que influyen de forma indirecta en la efectividad del proceso de lavado manual. El uso de ciertos materiales es indispensable para efectuar un correcto proceso de lavado manual; como, por ejemplo, mascarillas, lentes, delantales, cepillos

### **A. Detergentes enzimáticos**

Los detergentes enzimáticos son limpiadores enzimáticos a base de enzimas y detergentes no iónicas con pH neutro, no poseen acción corrosiva sobre ópticas, instrumental cirugías endoscópicas (metales y plásticos), capaces de saponificar las grasas, surfactar, dispersar y suspender la suciedad, disolver y degradar cualquier materia orgánica, aun en lugares de difícil acceso.

Los componentes que garantizan la desinfección de los instrumentales quirúrgicos son las amilasas que son proteína que cataliza las reacciones químicas de otras sustancias desempeñando su función sin ser destruidas o alteradas (Dorland, 2010). Dentro de la gran gama de marcas de detergentes enzimáticos que existen en el mercado, la mayoría tiene en su composición 4 distintos tipos de enzimas.

#### *a. Proteinasa:*

Enzima que cataliza el desdoblamiento de los enlaces peptídicos interiores de una proteína: una endopeptidasa (Dorland, 2010).

#### *b. Lipasa:*

Hidrolasa del éster del glicerol; cualquiera de ciertas enzimas abundantes que catalizan la hidrolisis de enlaces estéricos de los ácidos grasos (Dorland, 2010).

#### *c. Amilasa:*

Enzima de la clase hidrolasa que cataliza la hidrolisis de enlaces (Dorland, 2010).

d. *Carbohidrasa:*

Cualquier encima que catalice la hidrolisis de un carbohidrato, produciendo oligosacáridos o azúcares sencillos (Dorland, 2010).

### **3.5. Procedimiento**

El diseño del sistema de dosificación para el lavado manual está basado en el uso de una bomba de diafragma cuya principal función es dosificar detergente enzimático que se emplea en el proceso del lavado manual de instrumental quirúrgico en una central de esterilización.

Adicional, será necesario emplear un sensor de flujo para poder hacer las mediciones exactas de la cantidad de detergente enzimático que se dosificará para cada proceso de lavado manual que se realice en la central de esterilización. Además, se usará un Arduino para el desarrollo del programa de control de dosificación.

Todos los valores (variables) necesarias para el cálculo del volumen del soluto (detergente enzimático) serán ingresados al programa mediante un teclado periférico y podrán ser visualizados mediante una pantalla LCD (liquid crystal display) con interfaz para la comunicación con el Arduino.

#### ***3.5.1. Principales características del diseño de exposición***

Tener en cuenta que los niveles de dosificación de los detergentes enzimáticos están determinados por el fabricante, y los valores pueden variar desde los 2 ml/L hasta los 10 ml/L.

Considerar que el volumen del solvente, que debe ser agua blanda, es un factor que está determinado por la capacidad del recipiente donde se llevara a cabo el proceso del lavado manual; por ende, es una variable que también se debe tener en cuenta para el cálculo del volumen del detergente enzimático necesario a dosificar para el proceso de lavado manual.

Según normativa el solvente (agua blanda) se debe encontrar a una temperatura aproximada entre 40 °C y 45 °C para realizar el lavado manual y siempre que se emplee detergente enzimático; por ende, se deben usar mangueras de material resistentes a esas temperaturas.

Para el cálculo de la cantidad necesaria de detergente enzimático es indispensable conocer dos variables: el nivel de dosificación del detergente en uso (ml/L) y la cantidad del solvente (L). Ambos valores se deben ingresar por medio de un periférico, que en nuestro caso se tratara de un teclado matricial (numérico).

La bomba de diafragma debe ser de alimentación de 12 voltios en DC con un máximo de 1 A, debido a que esas son las características de nuestro sistema de alimentación para el Arduino que se emplea para el control del sistema. Además, debe ser capaz de succionar líquidos viscosos.

El sensor de flujo que se empleara en el sistema de dosificación es de modelo YT-S401. Es un sensor de efecto Hall, por cada pulso que produce es aproximadamente 2.25 mililitros y soporta presiones hasta 1.75 MPa.

### ***3.5.2. Componentes empleados en la implementación.***

**3.5.2.1. Arduino Nano V3.** Se optó por esta versión de Arduino por ser más compacta y de fácil manejo para la implementación del sistema de dosificación en un protoboard. Además, esta versión cuenta con 14 pines digitales los cuales se pueden emplear como entrada o salida de señales; de los cuales 6 proporcionan una salida PWM (modulación por ancho de pulso) que nos permitirá el control de la mini bomba de diafragma y los otros 8 pines restantes se usan como entradas analógicas.

El hardware del Arduino Nano V3 está basado en el mismo microcontrolador del Arduino Uno, que es el ATmega328. La única diferencia que en el Arduino Nano V3 el ATmega328 está en su versión SMD lo cual reduce su tamaño de una manera considerable.

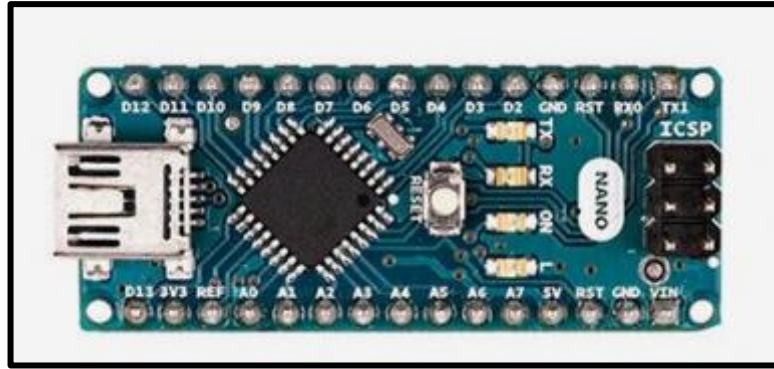


Figura 2. **Arduino Nano V3**. Fuente: Elaboración propia.

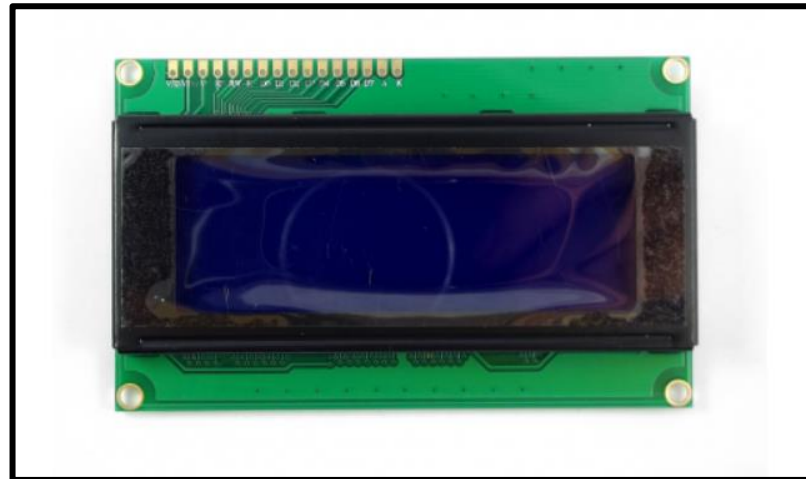
**3.5.2.2. Teclado matricial.** Se empleará un teclado matricial de 4 filas y 4 columnas (4x4) lo cual nos ofrece un total de 16 teclas o caracteres. Las 16 teclas solo necesitan emplear 8 pines del Arduino para su correcto funcionamiento. El teclado es de tipo membrana lo cual nos facilita su uso y porque son compatibles con cualquier microcontrolador, en nuestro caso Arduino Nano V3.



Figura 3. **Teclado matricial**. Fuente: Elaboración propia.

**3.5.2.3. Pantalla LCD 20x4.** Emplearemos una pantalla LCD alfanumérica de 4 líneas de 20 caracteres, esta pantalla emplea un chipset Samsung KS0066 de interfaz paralela. Es la pantalla más compatible para uso con Arduino. Posee un alto contraste con fondo azul retro iluminado con caracteres blancos lo cual le permite ser visible incluso durante el día.

Para la comunicación del LCD y cualquier controlador se emplea un bus de 8 datos. Además, emplea pines de control como RS (selector de chip), RW (lectura/escritura) y E (habilitador).



*Figura 4. Pantalla LCD.* Fuente: Elaboración propia.

**3.5.2.4. Módulo de interfaz serial I2C.** Para poder facilitar el manejo de la pantalla LCD la cual emplea un bus de 8 datos y pines adicionales de control, se empleará el módulo de interfaz serial I2C, que está basado en el controlador I2C PCF8574, el cual es un extensor de entradas y salidas digitales controlados por I2C. Esto nos permitirá facilitar el manejo de nuestra pantalla LCD 20x4, nos permitirá poder visualizar todos los datos en la pantalla LCD empleando únicamente 4 pines del Arduino, 2 pines para la alimentación (Vcc y GND) y 2 pines para el control (SDA Y SCL).

Adicional, el módulo cuenta con un potenciómetro que se encuentra acoplado a este con el cual es posible poder ajustar el brillo y el contraste de nuestra pantalla.

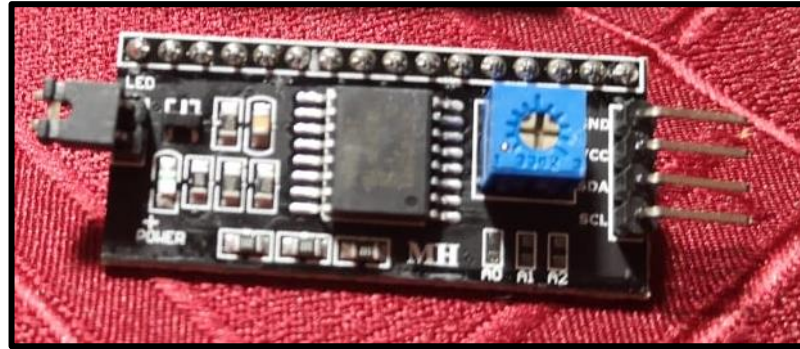


Figura 5. **Módulo de interfaz I2C.** Fuente: Elaboración propia.

**3.5.2.5. Módulo buzzer.** Con el objetivo de tener mayor interacción con el usuario se optó por usar un módulo buzzer en el circuito. Se empleará para generar sonido cada vez que se presione un botón del teclado matricial.

El módulo incluye un transistor que cumple la función de amplificador de señal, para facilitar su conexión con el Arduino y evitar que pueda dañar algún componente.



Figura 6. **Módulo buzzer para Arduino.** Fuente: Elaboración propia.

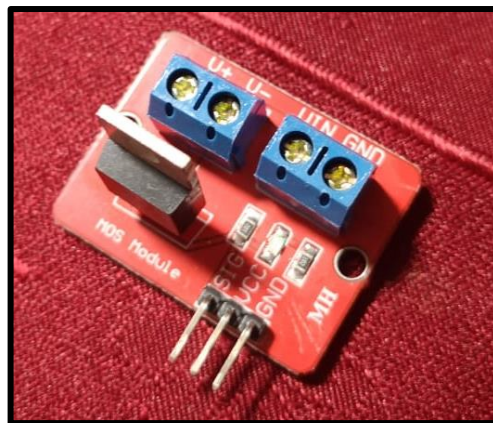
La distribución de los pines de pines del módulo buzzer es la siguiente:

*Tabla 1. Distribución de pines del módulo buzzer*

Módulo buzzer	Arduino Nano V3
GND	GND
Vcc	3.3 v – 5 v DC
I>O	Señal de control

**Nota:** Fuente: Elaboración propia

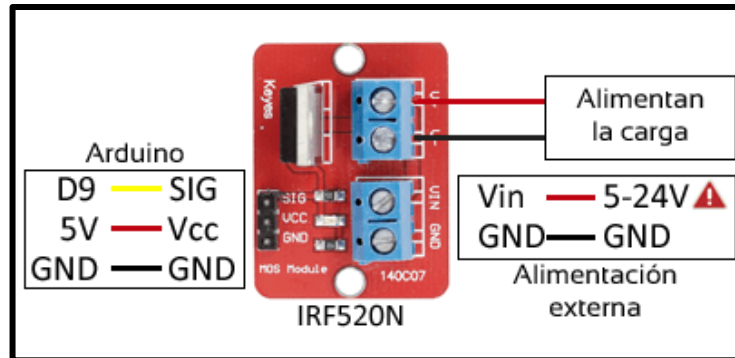
**3.5.2.6. Módulo Mosfet IRF520.** Para poder activar y tener un control sobre la mini bomba de diafragma debemos emplear el módulo IRF250 debido a que el voltaje y tensión entregado por el Arduino Nano V3 no es suficiente para la carga que este genera.



*Figura 7. Módulo MOSFET IRF520.* Fuente: Elaboración propia

El módulo Mosfet IRF250 tiene la capacidad de poder manejar una carga máxima de 9 A. Según las características eléctricas del IRF520, que se encuentran en el Datasheet, con un Vgs nominal de 10v se puede alimentar cargas con tensiones de 50v generando una intensidad máxima de 9.7 A. Bajo esta premisa y considerando que las salidas del Arduino Nano V3 ofrecen una

tensión nominal de 5v, se puede generar una tensión de alimentación de 24v y una intensidad máxima de 4 A.



*Figura 8. Distribución de pines del módulo IRF520.* Fuente: Elaboración propia.

**3.5.2.7. Mini bomba de diafragma modelo R385.** La bomba de diafragma R385 es un tipo de bomba de desplazamiento positivo, la cual aumenta la presión del líquido mediante el empuje de las paredes elásticas (membranas o diafragmas) que varían el volumen de la cámara aumentándolo o en su defecto disminuyéndolo, esto junto a unas válvulas de retención permiten el bombeo del líquido. Tiene una capacidad de poder succionar líquidos a una altura de 2 metros e impulsarlos verticalmente hasta de 3 metros.



*Figura 9. Mini bomba - modelo R385.* Fuente: Elaboración propia.



**3.5.2.8. Sensor de flujo modelo YF-S401.** El YF-S401 es un sensor de flujo de construcción sólida que trabaja por efecto Hall. Esta emplea un sensor con aspas para poder medir la cantidad de líquido que se pasado a través del él. En las aspas se ubica un pequeño imán, con lo cual el sensor de efecto Hall puede registrar cada vuelta que este genere. Este genere impulsos a la salida del sensor a una velocidad proporcional a la velocidad del flujo.

Cada pulso que el sensor YF-S401 genera representa aproximadamente 2.25 ml. La señal de pulso es una onda cuadrada que se puede se puede convertir en litros por minutos mediante la siguiente formula:

$$\frac{\text{Frecuencia de pulsos (Hz)}}{7} = \text{caudal (L/min)}$$

En el caso de nuestro sensor se debe tener en consideración que genera 4985 pulsos por litro de agua. El sensor cuenta con 3 conexiones: 2 de ellas son para la alimentación y 1 es la señal de pulsos que genera.



*Figura 10. Sensor de flujo - modelo: YF-S401.* Fuente: Elaboración propia.

### **3.5.3. Desarrollo del código del sistema de dosificación**

**3.5.3.1. Declaración de librerías necesarias para el desarrollo del código del sistema de dosificación.** Como estamos empleando Atom para el desarrollo del código se debe incluir una librería adicional “Arduino.h” para

tener acceso a todas las funciones del Arduino. Adicional se declaró 3 librerías: "Wire\Wire.h" para poder emplear el módulo I2C que emplea el LCD, "LiquidCrystal\_I2C\LiquidCrystal\_I2C.h" para poder usar el LDC de manera más práctica y "Keypad\Keypad.h" para usar el teclado con comandos más prácticos.

```
#include <Arduino.h>
#include "Wire\Wire.h"
#include "LiquidCrystal_I2C\LiquidCrystal_I2C.h"
#include "Keypad\Keypad.h"
```

**3.5.3.2. Asignación de variables globales para el sistema.** Variable de tipo volátil para acceder rápidamente y almacenar la cantidad de detergente.

```
volatile double waterFlow = 0
```

Variable de tipo entero que indica la concentración de dosificación del detergente enzimático.

```
int concentracionDetergente = 0,
```

Variable de tipo entero para indicar el volumen de agua en la unidad de litros, en donde se dosificará el detergente enzimático.

```
int volumenAgua = 0,
```

Variable de tipo entero que indica el total de detergente enzimático a dosificar para el proceso de lavado manual a desarrollar.

```
int totalDetergente = 0,
```

**3.5.3.3. Función principal de declaración de variables y pines de conexión del Arduino.** Esta es la función principal de declaración de variables y pines para las conexiones del Arduino, que en nuestro caso empleamos el Arduino Nano.

```

void setup() {

    waterFlow = 0;
    attachInterrupt(0, pulse, RISING);
    pinMode(ledPower , OUTPUT);    // pin LEDPOWER como
    salida
    pinMode(ledState1 , OUTPUT);    // pin LEDSTATE1
    como salida
    pinMode(ledState2 , OUTPUT);    // pin LEDSTATE2
    como salida
    pinMode(ledState3 , OUTPUT);    // pin LEDSTATE3
    como salida
    pinMode(buzzer , OUTPUT);    // pin BUZZER como
    salida
    pinMode(minibomba , OUTPUT);    // pin MINIBOMBA
    como salida
}

```

Luego inicializamos la pantalla LCD y todos los periféricos que se emplearan en el desarrollo del código.

```

lcd.init();
lcd.backlight();
digitalWrite(ledPower , LOW);    // LEDPOWER inicia
apagado
digitalWrite(ledState1 , LOW);    // LEDSTATE1 inicia apagado
digitalWrite(ledState2 , LOW);    // LEDSTATE2 inicia apagado
digitalWrite(ledState3 , LOW);    // LEDSTATE3 inicia apagado
digitalWrite(buzzer , LOW);    // BUZZER inicia apagado
digitalWrite(minibomba , LOW);    // MINIBOMBA inicia
apagado

```

Se establece el mensaje de presentación del código dando inicio al programa y se configura un led para indicar que todo el sistema esta energizado.

```

lcd.setCursor(0, 0); lcd.print(" PROYECTO TESINA ");
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print(" Ing. Electronica ");

```

```

lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("Universidad Nacional");
lcd.setCursor(0, 3); lcd.print("Mayor de San Marcos");
delay(2000);
lcd.clear();
digitalWrite(ledPower, HIGH);

```

**3.5.3.4. Función para la configuración del teclado matricial.** Como primer paso designamos dos variables del tipo CONST para el nombre de filas y columnas del teclado. Se les asigna este tipo de variable porque nuestro teclado es de 4 filas por 4 columnas y estos valores se mantendrán inmutables en el desarrollo del código.

```

const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;

```

Creamos otra variable, pero de tipo CHAR para poder almacenar en esta la matriz de los valores de las teclas de nuestro teclado matricial.

```

char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'},

```

Posterior, asignamos los pines del arduino a las filas y columnas del teclado

```

byte rowPins[ROWS] = {12, 11, 10, 9};
byte colPins[COLS] = {8, 7, 6, 5};

```

Finalmente, usamos la siguiente función para poder iniciar el teclado y almacenar todos los datos que se ingresan por medio de este periférico. La función está desarrollada por la librería "Keypad\Keypad.h", solo basta hacer uso de la misma para poder ingresar el dato necesario para el desarrollo del proceso de control.

```
Keypad customKeypad = Keypad(makeKeymap(hexaKeys), rowPins,
colPins, ROWS, COLS);
```

### **3.5.3.5. Funciones que empleara el código del sistema de dosificación.**

#### **A. Función para la impresión de datos de en la pantalla LCD.**

El propósito del desarrollo de esta función es poder mostrar los datos en el LCD, para esto se usará las funciones ya pre establecidas dentro de la librería "LiquidCrystal\_I2C \LiquidCrystal \_I2C.h", lo cual permite ahorrar código y que sea más sencilla la programación.

```
void imprimirDatosLCD (unsigned int posicionX, unsigned int
posicionY, String texto){
    lcd.setCursor(posicionX, posicionY);
    lcd.print(texto);
}
```

#### **B. Función para programar el sonido del buzzer**

El propósito de esta función es poder brindar un teclado más amigable con el usuario; es decir, el buzzer realizara un sonido cada vez que se presione una tecla del mismo. Esto para poder desarrollar una interfaz más interactiva que pueda garantizar que se esté ingresando los datos correctamente al programa.

```
void sonidoBuzzerProgramado(unsigned int tiempoMiliSegundos){
    digitalWrite(buzzer, HIGH); // Prende el buzzer
    delay(tiempoMiliSegundos); // mantiene el encendido durante el
tiempo
    digitalWrite(buzzer, LOW); // Apaga el buzzer
}
```

### C. Función para obtener los datos ingresados por el teclado matricial

La finalidad de esta función es poder almacenar los datos que serán ingresados por el teclado matricial. Los datos que se ingresaran son el índice de dosificación del detergente enzimático y cantidad del agua blanda donde se diluirá el mismo para el proceso del lavado manual del detergente enzimático.

```
int obtenerDatoIngresado(){
    String datoIngresado = " ";
    char  teclaPresionada = ' ';
    int   datoEntero     = 0 ;
    while(teclaPresionada != 'D'){
        teclaPresionada = customKeypad.getKey();
        if(teclaPresionada && teclaPresionada != 'D') {
            datoIngresado += teclaPresionada;
            lcd.print(teclaPresionada);
            sonidoBuzzerProgramado(50);
        }
        delay(100);
    }
    sonidoBuzzerProgramado(200);
    datoEntero = datoIngresado.toInt();
    return datoEntero;
}
```

### D. Función para la confirmación del inicio del proceso de llenado de detergente

La finalidad de esta función es confirmar el inicio del proceso de llenado de detergente para el proceso de lavado manual. El programa espera la confirmación del usuario por medio de la tecla “B” del teclado para poder dar inicio a la dosificación del detergente enzimático. Además, se programó el encendido de un led como indicador del inicio de la dosificación.

```

void confirmacionProceso(){
    while(customKeypad.getKey() != 'B');
    sonidoBuzzerProgramado(200);
    lcd.clear();
    digitalWrite(ledState1, HIGH);
}

```

### **E. Función para la inyección del detergente enzimático**

Después de la confirmación del inicio del proceso por parte del usuario el programa procede con la inicialización de la dosificación del detergente enzimático por medio de la siguiente función.

```

void iniciarInyeccion(){
    char teclaElegida = ' ';
    imprimirDatosLCD(0, 2, "Listo, iniciar? ");
}

```

Mediante el teclado matricial el usuario debe confirmar el proceso mediante la tecla “B” o abortar el proceso mediante la tecla “C” la cual crea una interrupción del proceso.

```

do{
    while(!(teclaElegida = customKeypad.getKey()));
    if(teclaElegida == 'A')
        return;
}

```

Se agregó una serie de sonidos mediante la función `sonidoBuzzerProgramado` para mejorar la interacción con el usuario, y se activa un led para poder indicar que se inicia la inyección.

```

sonidoBuzzerProgramado(200);
lcd.print("-");
sonidoBuzzerProgramado(500);
delay(500);
lcd.print("-");

```

```

sonidoBuzzerProgramado(500);
delay(500);
lcd.print("OK");
sonidoBuzzerProgramado(800);
digitalWrite(ledState2, HIGH);
lcd.setCursor(0, 3); lcd.print("LLENANDO: ");

```

Se activa la mini bomba de diafragma modelo R385 con un PWM con un duty cycle de 100, teniendo en cuenta que el máximo valor que puede tomar es de 255 según las especificaciones de técnicas del fabricante.

```

analogWrite(minibomba, 100);

```

También se necesita una función para poder almacenar la información que es captada por el sensor de flujo, la cual será empleado para el control de la mini bomba de diafragma.

```

void pulse(){
    waterFlow += 1000.0 / 4945.0;
}

```

Mediante el sensor de flujo modelo YS-S401, controlamos a la mini bomba de diafragma. La bomba seguirá activa mientras que la cantidad de detergente que pase por el sensor de flujo sea menor o igual a la cantidad total del detergente calculado mediante los dos valores ingresados por el teclado matricial.

```

while(waterFlow <= totalDetergente){
    lcd.setCursor(10, 3);
    lcd.print(waterFlow);
    lcd.print(" mL");
    delay(100);
}

```

Cuando termine el llenado del detergente; es decir cuando el valor medido por el sensor de flujo sea mayor que el valor establecido inicialmente, la mini bomba deberá apagarse automáticamente; adicional a esto se encenderá un led y sonara el módulo buzzer los cuales indicaran el final de la dosificación del detergente enzimático.



```
digitalWrite(minibomba, LOW);
digitalWrite(ledState3, HIGH);
sonidoBuzzerProgramado(500);
delay(2500);
lcd.clear();
```

Para finalizar el proceso se mostrará el mensaje “PROCESO COMPLETADO”, se prenderán todos los leds y después de un sonido emitido por el módulo buzzer se apagarán todos los LEDs y el programa espera cualquier tecla para continuar con otro proceso de dosificación de detergente enzimático.

```
imprimirDatosLCD(0, 1, " PROCESO ");
imprimirDatosLCD(0, 2, " COMPLETADO. ");
digitalWrite(ledState1, HIGH);
digitalWrite(ledState2, HIGH);
digitalWrite(ledState3, HIGH);
sonidoBuzzerProgramado(800);
digitalWrite(ledState1, LOW);
digitalWrite(ledState2, LOW);
digitalWrite(ledState3, LOW);
while(!customKeypad.getKey());
}
```

#### **F. Función de confirmación de nuevo proceso al término de la dosificación**

Al terminar el proceso de dosificación de detergente el programa necesita confirmación para un nuevo inicio del proceso. Mediante la tecla “#” el usuario puede confirmar el inicio de un nuevo proceso de dosificación, el nuevo proceso contará con todos los pasos ya preestablecidos anteriormente.

```
void confirmacionNuevoProceso(){
    sonidoBuzzerProgramado(200);
    lcd.clear();
    imprimirDatosLCD(0, 1, " INICIAR NUEVO ");
```

```

imprimirDatosLCD(0, 2, " PROCESO? ");
while(customKeypad.getKey() != '#');
    sonidoBuzzerProgramado(1000);
    lcd.clear();
    digitalWrite(ledState1, LOW);
    digitalWrite(ledState2, LOW);
    digitalWrite(ledState3, LOW);
    waterFlow = 0.0;
}

```

### **G. Función para el almacenamiento de datos para el cálculo de detergente enzimático a dosificar**

Esta función permite poder almacenar los datos introducidos mediante el teclado matricial. Los datos necesarios para el cálculo de la cantidad de detergente enzimático son la cantidad de agua blanda para la disolución (litros) y el índice de concentración del detergente enzimático (ml/L).

```

void loop() {

    imprimirDatosLCD(0, 0, " INGRESO DE DATOS ");
    imprimirDatosLCD(0, 1, "Con.Det.(mL/L): ");
    concentracionDetergente = obtenerDatoIngresado();
    imprimirDatosLCD(0, 2, "Vol. Agua (L) : ");
    volumenAgua = obtenerDatoIngresado();
}

```

El cálculo de la cantidad total de detergente enzimático es el producto de la concentración del detergente por el volumen del agua, y esto se almacena en la variable "totalDetergente". Y al final lo muestran en la pantalla LCD.

```

totalDetergente = concentracionDetergente * volumenAgua;
imprimirDatosLCD(0, 3, ("Tot. Det. (mL): " +
String(totalDetergente)));
imprimirDatosLCD(0, 0, "INYECCION DETERGENTE");
imprimirDatosLCD(0, 1, ("Tot. Det. (mL): " +
String(totalDetergente)));  iniciarInyeccion();

```

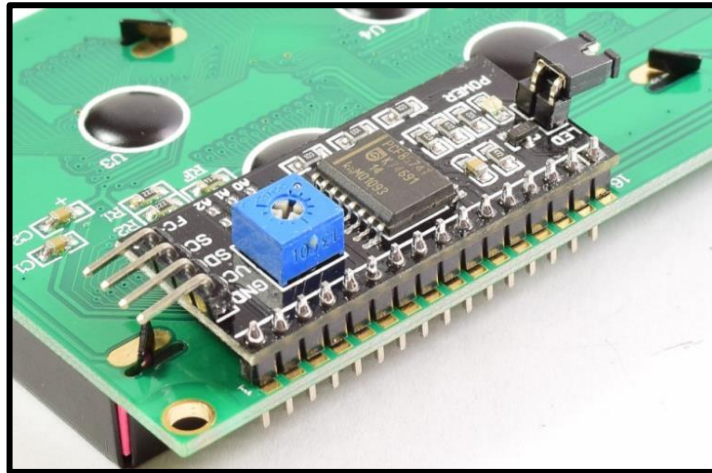
```

confirmacionNuevoProceso();
}

```

### 3.5.4. Implementación del circuito

**3.5.4.1. Acondicionamiento de la pantalla LCD.** Procedemos a soldar el módulo de interfaz I2C a nuestra pantalla LCD. Lo soldamos en los pines que se encuentran en la parte superior de la pantalla, como se muestra en la imagen a continuación.



*Figura 11. Conexiones entre la pantalla LCD y el módulo de interfaz I2C.*  
Fuente: Elaboración propia.

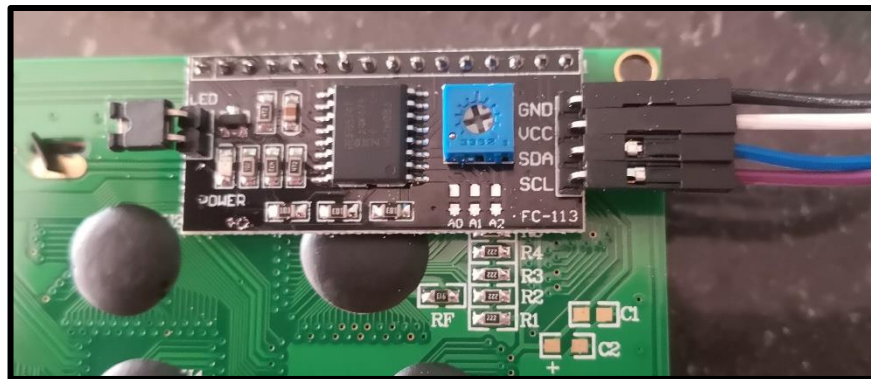
Después de soldar el módulo en la pantalla LCD procedemos a realizar las conexiones entre el módulo I2C y el Arduino Nano V3, respetando las salidas como se observa en el cuadro a continuación.

*Tabla 2. Conexiones pin a pin entre el módulo I2C y el Arduino nano V3*

MODULO I2C	ARDUINO NANO V3
GND	GND
VCC	5 v.

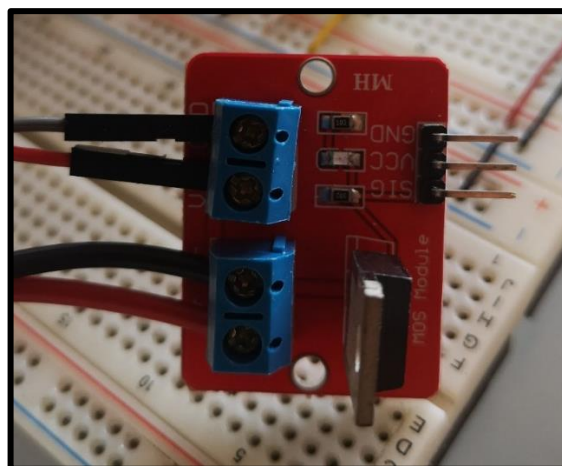
<b>SDA</b>	PIN A4
<b>SCL</b>	PIN A5

**Nota:** Fuente: Elaboración propia



*Figura 12. Módulo de interfaz I2C.* Fuente: Elaboración propia.

**3.5.4.2. Acondicionamiento de la bomba de diafragma.** Para poder activar la bomba de diafragma es necesario el uso del módulo Mosfet IRF520 para poder cubrir los requerimientos de alimentación de la carga. Además, nos permitirá el control de la carga con un solo pin de salida del Arduino. Nuestra mini bomba de diafragma trabaja con 12 v, lo cual no puede ser suministrado por el nuestro Arduino Nano V3.



*Figura 13. Módulo IRF520.* Fuente: Elaboración propia.

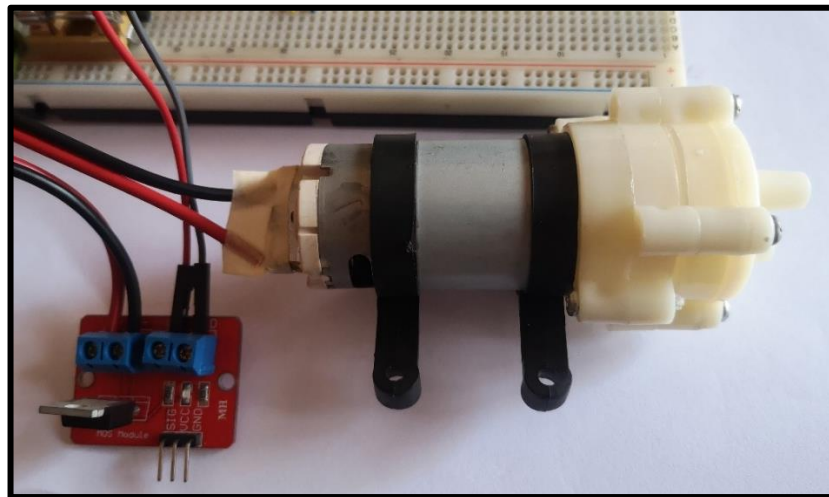
Procedemos a realizar las conexiones entre el módulo, el Arduino y la bomba de diafragma.

*Tabla 3. Conexiones entre el módulo IRF520 y el Arduino nano V3.*

MODULO IRF520N	CONEXIONES
SIG	PIN D3
Vcc	5 v (Arduino)
GND	GND (Arduino)
V in	12 v. (alimentación externa)
GND in	GND (alimentación externa)
V+	Borne positivo (carga)
V-	Borne negativo (carga)

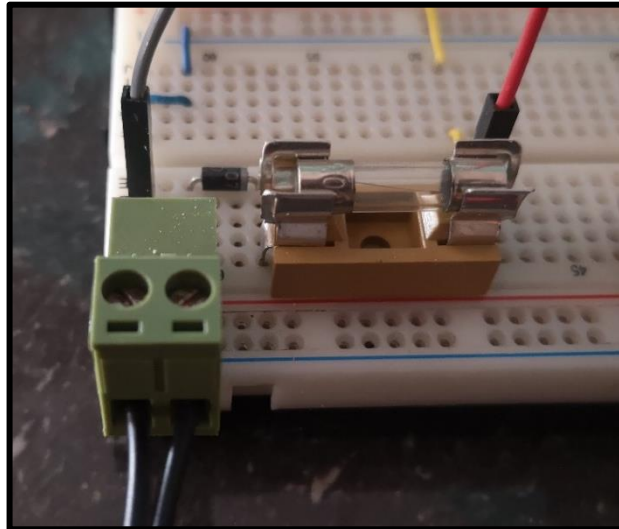
**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Es importante recordar que al usar dos fuentes de tensión se debe colocar siempre en común todos los puntos de GND, con la finalidad de evitar dañar algún componente de nuestro Arduino o del módulo IRF520N.



**Figura 14. Conexión entre la mini bomba de diafragma y el módulo IRF520.** Fuente: Elaboración propia.

**3.5.4.3. Alimentación externa.** Emplearemos una fuente de 12 v/1.5 A para poder alimentar nuestra carga y poder realizar el control sobre la misma. Adicional, colocaremos un pequeño sistema de protección conformado por un diodo rectificador y un fusible para evitar cualquier variación en la intensidad de corriente que pueda dañar cualquier componente del circuito.



*Figura 15. Conexión de la fuente externa de 12 V.* Fuente: Elaboración propia.

**3.5.4.4. Distribución de indicadores leds del sistema.** En el sistema se colocarán 4 leds como se puede observar en la imagen a continuación, los cuales indicarán en qué etapa del proceso de dosificación se encuentra el programa.

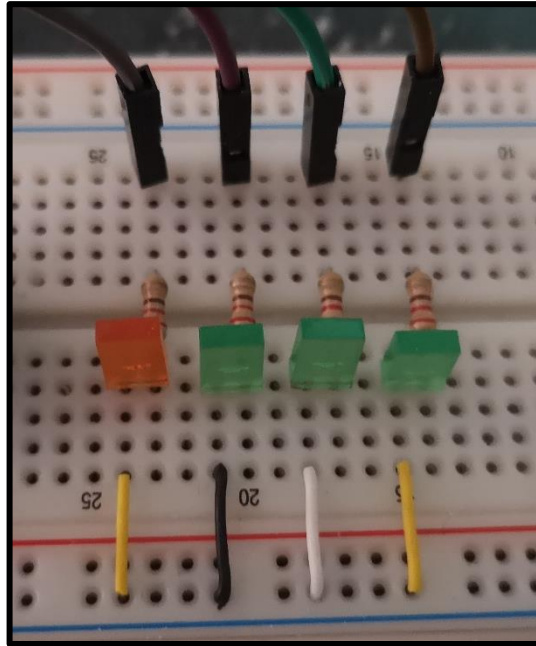


Figura 16. Arreglo de Leds. Fuente: Elaboración propia.

Se le asignará un pin del Arduino para cada led y cada uno de estos tendrá un significado diferente como se podrá observar en el cuadro a continuación.

Tabla 4. Arreglo de Leds.

LED	PIN DEL ARUDINO	SIGNIFICADO
1° LED	Pin A0	El sistema se encuentra encendido
2° LED	Pin A1	Listo para iniciar el proceso de dosificación
3° LED	Pin A2	Dosificando el detergente
4° LED	Pin A3	Final de la dosificación

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

**3.5.4.5. Conexión del módulo buzzer.** Para nuestro circuito haremos uso de un módulo buzzer activo, que también suelen ser denominados zumbadores. Son dispositivos que generan un sonido de una frecuencia determinada u fija cuando son conectados a tensión.



Figura 17. **Módulo buzzer.** Fuente: Elaboración propia

El módulo buzzer que estamos empleando incorpora un oscilador simple por lo que solo necesita suministro de corriente para que emita sonido, a diferencia de los módulos pasivos que necesitan recibir una onda de frecuencia para poder trabajar.

El módulo cuenta con 3 pines y la distribución es la siguiente:

Tabla 5. *Conexión entre el módulo buzzer y el Arduino nano V3.*

Módulo buzzer	Arduino Nano V3
GND	GND
I>O	Pin D4
Vcc	5 v

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

**3.5.4.6. Conexión del teclado matricial.** El teclado matricial que empleamos para nuestro sistema de dosificación de detergente tiene en total 16 botones disponibles para el uso. Estos botones envían las señales al Arduino mediante 8 pines los cuales se conectarán desde los pines D5 hasta el pin D12.

Algunos botones del teclado matricial cumplen funciones específicas, en el siguiente cuadro detallaremos la función de cada una de ellas.



*Tabla 6. Configuración del teclado matricial.*

<b>TECLA</b>	<b>FUNCION</b>
Botón "A"	Para abortar el proceso de dosificación e iniciar uno nuevo
Botón "B"	Iniciar el proceso de dosificación
Botón "C"	Confirmar un proceso nuevo
Botón "D"	Confirmar los datos solicitados por el programa

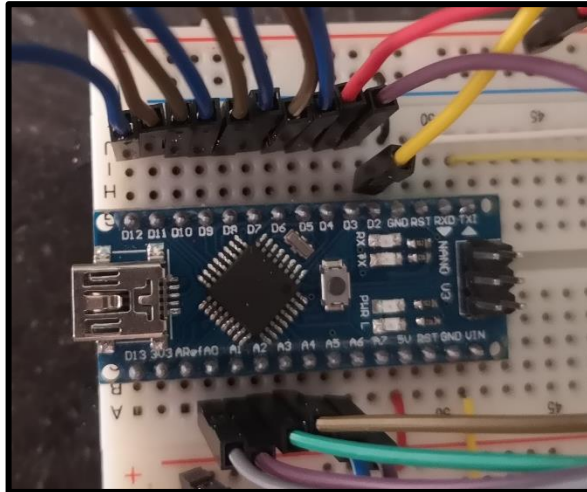
**Nota:** Fuente: Elaboración propia

**3.5.4.7. Distribución pin a pin del Arduino Nano V3.** En el siguiente cuadro se mostrará todas las conexiones pin a pin del Arduino Nano V3 que estamos empleando en nuestro sistema de dosificación de detergente enzimático.

*Tabla 7. Conexiones pin a pin del Arduino nano V3*

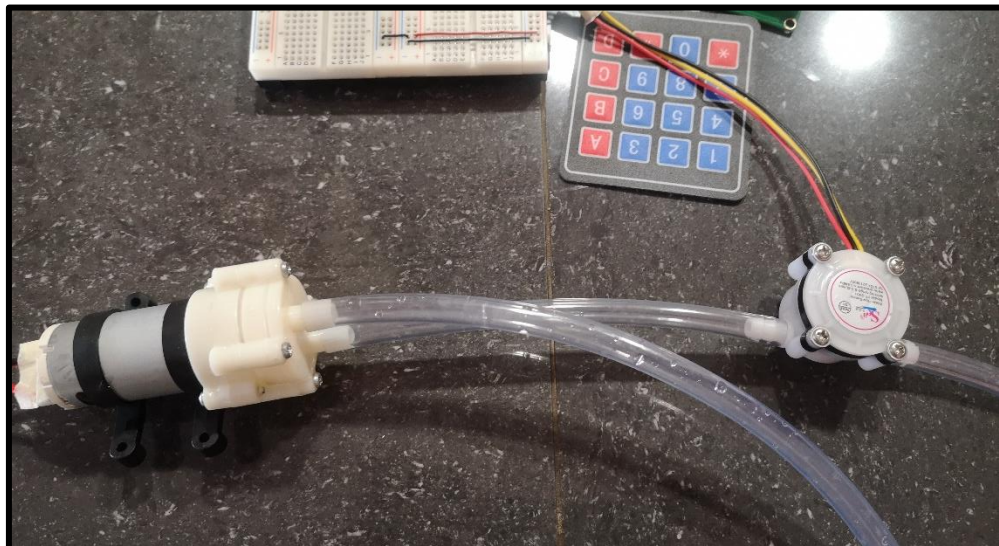
<b>PIN DEL ARDUINO</b>	<b>CONEXIÓN</b>
D2	Sensor de flujo
D3	Modulo IRF520
D4	Modulo buzzer
D5 - D12	Teclado matricial
V in	12 v (alimentacion externa)
A0 – A3	Arreglo de indicadores LEDs
A4 – A5	Pantalla LCD

**Nota:** Fuente: Elaboración propia



*Figura 18. Conexiones pin a pin del Arduino Nano V3. Fuente: Elaboración propia*

**3.5.4.8. Conexión entre la mini bomba y el sensor de flujo.** La mini bomba de diafragma tiene una conexión de ingreso y otra de salida a la cual se debe conectar el sensor de flujo. Es importante realizar correctamente esta conexión de caso contrario el sensor no podrá medir la cantidad de detergente enzimático dosificado.



*Figura 19. Conexión entre la mini bomba y el sensor de flujo. Fuente: Elaboración propia.*

**3.5.4.9. Circuito final.** En la imagen a continuación se muestra el circuito final con todas las conexiones y periféricos empleados en nuestro sistema de dosificación.

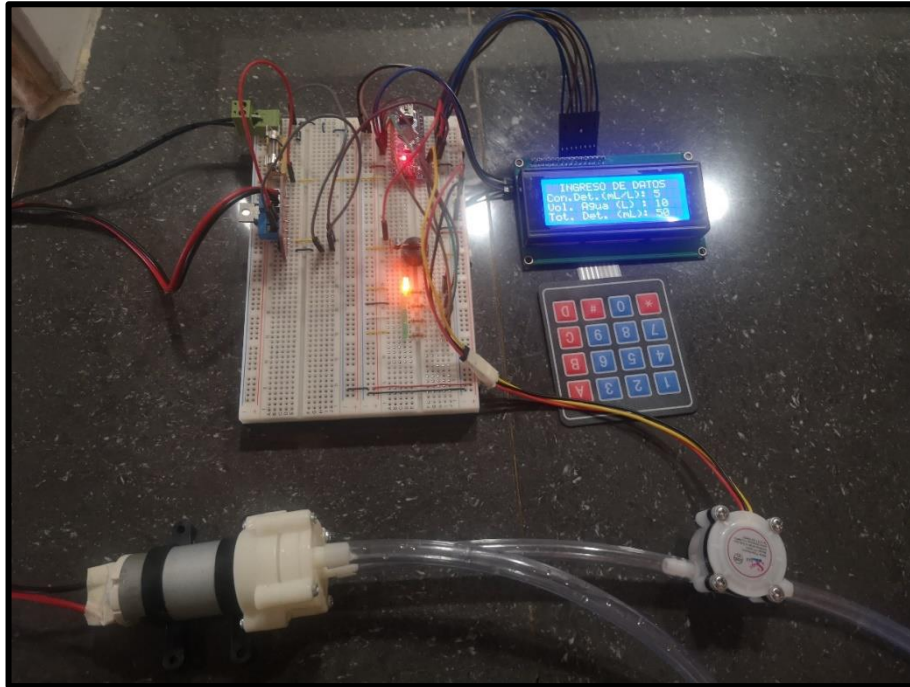


Figura 20. **Circuito final.** Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. Resultado de la actividad

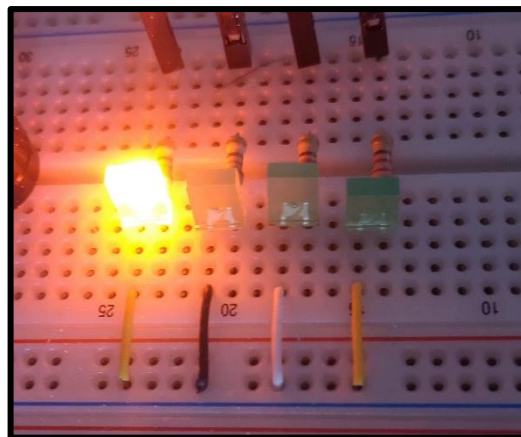
Después de realizar todas las conexiones y hacer las revisiones correspondientes al sistema de dosificación, procedemos a poner en prueba nuestro programa.

Al suministrar energía a nuestro circuito observamos que nuestros dos primeros indicadores funcionan correctamente. El 1° indicador Led que colocamos se encuentra activo señal que el circuito esta apropiadamente alimentado de energía eléctrica y el programa está listo para empezar con el proceso de dosificación.



*Figura 21. Pantalla de Bienvenida.* Fuente: Elaboración propia.

El segundo indicador es el mensaje de inicio que se muestra en la pantalla LCD, el cual nos da a entender que el programa inicio apropiadamente y está a la espera de los datos necesarios para empezar el proceso de dosificación.



*Figura 22. Activación del 1er LED.* Fuente: Elaboración propia.

Después de mostrar el mensaje de inicio se procede a ingresar los datos que nuestro programa necesita para el cálculo automático de la cantidad de detergente enzimático que se requiere para el proceso de lavado manual de instrumental quirúrgico.



Figura 23. **Pantalla de inicio.** Fuente: Elaboración propia.

Se debe ingresar dos datos: el primer dato es el de índice de concentración del detergente, el cual está definido por el fabricante de detergente enzimático y debe estar representado en las unidades de ml/l. El segundo dato es el volumen de agua blanda donde se realizará la sumersión del instrumental quirúrgico en el proceso de lavado manual.

Para poder de introducir los valores solicitados por el programa, se debe presionar la tecla “D” con la finalidad que el programa admita los valores y los almacene en las variables correspondientes.

El cálculo del volumen de detergente que se empleara para ese proceso de lavado manual es automático y se muestra en la pantalla LCD tan pronto se ingresen los datos necesarios.



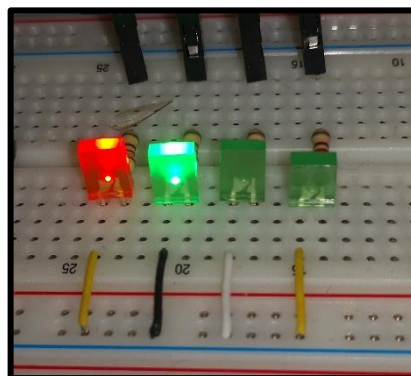
Figura 24. **Interfaz de introducción de datos.** Fuente: Elaboración propia.

Para continuar con el proceso de dosificación se debe presionar la tecla “B” como señal de confirmación para el inicio del proceso. Luego se mostrará un mensaje de autorización en la pantalla LCD con el objetivo de autorizar el inicio de la dosificación del detergente enzimático.



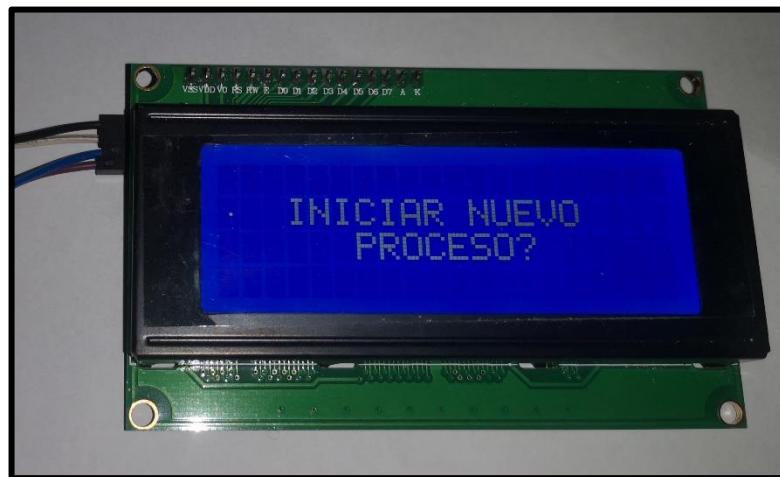
*Figura 25. Interfaz de confirmación de inicio de proceso.* Fuente: Elaboración propia.

Al mismo tiempo que el mensaje de autorización es mostrado en la pantalla, se enciende el segundo LED. Este LED indica que el sistema está listo y preparado para dar inicio al proceso de dosificación y solo se encuentra en la espera de la señal de inicio.



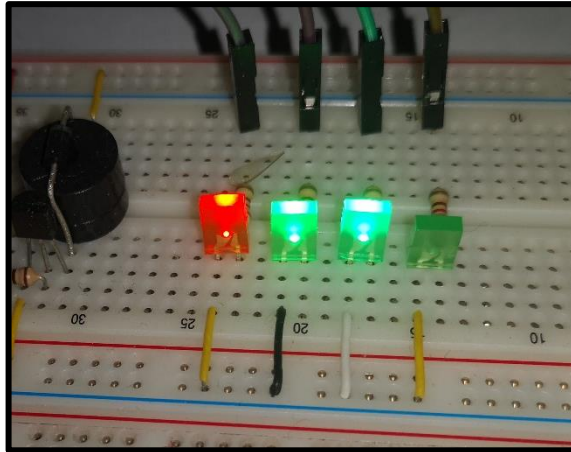
*Figura 26. Activación del 2do LED.* Fuente: Elaboración propia.

En caso de cometer un error al momento de digitar los datos solicitados por el programa, se puede volver a iniciar el proceso mediante el accionamiento de la tecla “A”. Al presionar dicha tecla se mostrará en pantalla el mensaje “INICIAR NUEVO PROCESO?” y el programa se quedará en stand by esperando la confirmación del usuario mediante la tecla “D”. Se debe seguir con este procedimiento si ocurrió un error al digitar cualquiera de los dos datos necesarios para el cálculo del volumen del detergente a dosificar y así se podrá volver a la pantalla de introducción de datos que se muestra en la figura 21.



*Figura 27. Interfaz de confirmación de nuevo proceso.* Fuente: Elaboración propia.

Para autorizar el inicio del proceso de dosificación se debe presionar la tecla “B” nuevamente, después de esto se producirá tres sonidos emitidos por el módulo buzzer de nuestro sistema. Además, aparecerá una señal “OK” y la mini bomba de diafragma comenzará a dosificar detergente, dando paso a que se active nuestro 3er LED, el cual indica que el sistema está en proceso de dosificación.



*Figura 28. Activación del 3er LED.* Fuente: Elaboración propia.

Al mismo tiempo que mini bomba de diafragma se encuentra funcionando, nuestro sistema está midiendo el volumen de detergente que se está inyectando para el lavado manual y lo muestra en la parte inferior de la pantalla en tiempo real.

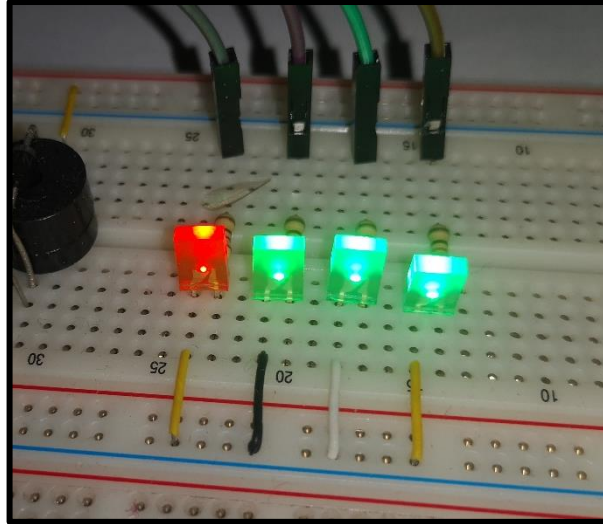


*Figura 29. Interfaz de dosificación de detergente.* Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar el proceso de dosificación, el 4to LED se encenderá acompañado de 3 pitidos emitidos por el módulo buzzer lo cual indicará el fin



del proceso. En cada pitido emitido por el módulo buzzer se encenderán el 2do, 3er y 4to LED al mismo tiempo intermitentemente.



*Figura 30. Activación 4to LED.* Fuente: Elaboración propia.

Al final de los pitidos se mostrará en la pantalla LCD el mensaje “PROCESO COMPLETADO”, y al presionar cualquier tecla de la membrana surgirá un nuevo mensaje el cual nos permitirá dar inicio a un nuevo proceso. Para iniciar un nuevo proceso se debe dar confirmación mediante la tecla “D”. Después de realizar estos pasos el programa volverá a interfaz de introducción de datos como se muestra en la figura 25.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES**

#### **4.1. Metodología Aplicada**

##### ***4.1.1. Tipo de investigación***

###### **Proyectivo holístico**

Córdoba y Monsalve (p.3) indica que la investigación proyectiva consiste:

En encontrar la solución a los problemas prácticos, se ocupa de como deberían ser las cosas para alcanzar los fines y funcionar adecuadamente. Consiste en la elaboración de una propuesta o de un modelo, para solucionar problemas o necesidades de tipo práctico, ya sea de un grupo social, institución, un área en particular del conocimiento, partiendo de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y las tendencias futuras.

##### ***4.1.2. Diseño de la investigación***

###### **Experimental**

Arias (2012) define la investigación experimental como: “proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento, para observar los efectos o reacciones que se producen”

## 4.2. Discusión de resultados

Se realizó varios procesos de dosificación empleando nuestro circuito, con la finalidad de poder hacer mediciones y comprobar si los volúmenes dosificados son correctos.

Primero, se realizó la comprobación de la fórmula que se emplea para el cálculo del volumen final a dosificar. Se realizaron 10 pruebas con valores aleatorios con los cuales se realizó el cálculo manual y el cálculo automático con uso de nuestro programa. Al final logramos constatar que los valores calculados por nuestro programa coinciden en un 100% con los valores calculados manualmente y no existe falla alguna en la fórmula empleada en el programa.

Segundo, se procedió a la verificación del volumen dosificado por nuestro sistema. Se realizaron 5 mediciones con valores aleatorios. El valor que el programa medía presenta un margen de error del 0.2% con el valor que se calculaba para el volumen de detergente a dosificar. Como se puede apreciar en la imagen a continuación; donde el valor a dosificar era de 50 ml pero la medición por parte del sensor de flujo al fin del proceso nos otorgaba un 49.95 ml, generando un margen de error casi despreciable para el proceso de lavado manual.

Al realizar las mediciones manuales de los volúmenes del detergente enzimático que se dosificaron en los 5 casos anteriores, no se encontró variación alguna entre lo medido y lo calculado por el programa. Se debe considerar que se empleó una probeta con una resolución de 1 ml.

## 4.3. Conclusiones

- La implementación del sistema permite el cálculo automático de la cantidad necesaria de detergente enzimático para el desarrollo del proceso de lavado manual de instrumental quirúrgico.

- Es necesario es conocer el índice de dosificación del detergente enzimático que se empleara para el proceso de lavado manual, considerando que este valor es determinado por cada fabricante del mismo.
- Con la finalidad de garantizar la dosificación exacta de detergente enzimático para el proceso de lavado manual, fue mandatorio realizar la calibración del sensor de flujo.
- Como el voltaje de salida del Arduino Nano V3 es de 5v, el uso del módulo Mosfet IRF520 fue determinante en el circuito porque proporcionó el voltaje necesario para activar a la mini bomba de diafragma.
- Para el desarrollo del programa, hacer uso de las librerías "LiquidCrystal\_I2C\LiquidCrystal\_I2C.h" y "Keypad\Keypad.h" fue muy necesario porque nos permitió que los comandos para la interacción con los periféricos sean más sencillos y fáciles de usar.
- El volumen dosificado por nuestro sistema tiene un margen de error del 0.2% con respecto al volumen calculado.
- Para poder obtener una mayor exactitud en nuestro sistema de dosificación se necesita integrar una bomba de dosificación con un caudal más pequeño y preciso que con el que contamos en nuestro circuito.
- Nuestra interrupción del proceso para el caso de una equivocación en la digitalización de los datos requeridos para el cálculo del volumen del detergente funciona correctamente.

## **CAPÍTULO V**

### **RECOMENDACIONES**

- Conocer con exactitud el índice de dosificación del detergente a emplear en el proceso de lavado manual de instrumental quirúrgico.
- Se debe realizar el cambio de las mangueras de dosificación semestralmente, debido a que estas se cristalizan con mucha facilidad por las características químicas de los detergentes enzimáticos.
- El sensor de flujo es muy propenso a variar en sus mediciones por el constante uso que pueda tener, motivo por el cual se recomienda hacer una rutina de calibración mensual para garantizar que la cantidad de detergente enzimático sea la calculada.
- El índice de dosificación de algunos detergentes no viene expresado en las unidades de medición que nuestro sistema emplea que es ml/L; por ende, se debe hacer la conversión apropiada para evitar dosificaciones inapropiadas para el proceso de lavado manual.
- Para mejorar el rendimiento del sistema de dosificación se recomienda emplear bombas peristálticas en lugar de bombas por diafragma, debido a que estas tienen una mayor exactitud en la cantidad de detergente dosificado.
- Se recomienda instalar una bomba con un caudal menor a 1 l/min para poder mejorar la exactitud de nuestro sistema.
- Colocar abrazaderas en las terminales de las conexiones de las mangueras de dosificación para evitar que ingrese aire a la bomba o al sensor de flujo, lo cual podría originar mediciones erróneas.

## CAPÍTULO VI

### BIBLIOGRAFIA

- Acosta S. & De Andrade V. (2008). *Manual de esterilización para centros de salud*. Washington.
- Chang W. (2002). *Química* (séptima edición), México D.F: McGraw – Hill/interamericana editores.
- Dorland. (2010). *Diccionario Medico*. España: McGraw- Hill / interamericana de España.
- Hernández R., Fernández C. & Baptista P. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta edición). México: McGraw-Hill/interamericana editores.
- Hurtado J. (2000). *Metodología de la Investigación Holística* (tercera edición). Venezuela: Fundación Sypal.
- MINSA. (2002). *Manual de desinfección y esterilización hospitalaria*. Perú: Lima.
- ESSALUD. (2016). *Normas y procedimientos de la central y unidad de esterilización del seguro social de salud – ESSALUD*. Perú: Lima.
- Portilla Y. (2012). *Los métodos de procesamiento y control de instrumental quirúrgico y su influencia en el servicio de la central de esterilización del hospital Daniel Alcides Carrión Essalud Tacna 2011*. (tesis de titulación). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.
- Castillo J. & Yaucan A. (2016). *Limpieza, desinfección y esterilización de materiales, equipos e instrumental quirúrgico en la central de esterilización del Hospital Militar General II de Libertad, de octubre 2015 a marzo 2016 en la ciudad de Guayaquil*. (tesis de titulación). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Ecuador.

- Pizarro S. (2013). *Calidad de limpieza del instrumental quirúrgico realizado por el personal de enfermería hospital materno infantil – caja nacional de salud La Paz 2012*. (tesis de titulación). Universidad mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Costa D., Ito C. & Feres R. (2017). Instrumento para evaluación de detergentes enzimáticos. *Scielo*. Recuperado de [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S00802342008000200011&script=sci\\_abstract&tIng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S00802342008000200011&script=sci_abstract&tIng=es)
- Ortiz D. & Zambrano C. (2017). *Diseño de un sistema de dosificación volumétrica para jabón en polvo* (tesis de titulación). Fundación universidad de América. Bogotá D. C.
- Hilario R. & Ospino E. (2018). *Eficacia del detergente enzimático versus detergente no enzimático en la eliminación del biofilm en instrumental canulado* (tesis de titulación). Universidad privada Nibert Wiener. Lima, Perú.
- Guerra S., Rodríguez M. & Temer R. (2011). *Estudio de la eficacia proteolítica de detergentes enzimáticos a temperatura ambiente y 37 °C*. Recuperado de <http://aestu.org.uy/publicaciones/Prueba%20D%20Enzimaticos%208%20agosto%20aprobado.pdf>
- Getinge. (2015). *Fichas de datos de seguridad Getinge Clean MIS detergente*.

## CAPÍTULO VII

### ANEXOS

#### ANEXO 1. CÓDIGO COMPLETO DEL SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

```

#include <Arduino.h>
#include "Wire\Wire.h"
#include "LiquidCrystal_I2C\LiquidCrystal_I2C.h"
#include "Keypad\Keypad.h"

volatile double waterFlow = 0;
int concentracionDetergente = 0;
int volumenAgua = 0;
int totalDetergente = 0;

const unsigned char minibomba = 3;
const unsigned char ledPower = 14;
const unsigned char ledState1 = 15;
const unsigned char ledState2 = 16;
const unsigned char ledState3 = 17;
const unsigned char buzzer = 4;
const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 4;

char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'}
};

byte rowPins[ROWS] = {12, 11, 10, 9};
byte colPins[COLS] = {8, 7, 6, 5};
Keypad customKeypad = Keypad(makeKeymap(hexaKeys), rowPins,
colPins, ROWS, COLS);
void pulse();
void sonidoBuzzerTeclado(unsigned int tiempoMiliSegundos);
void imprimirDatosLCD(unsigned int posX, unsigned int posY, String texto);
void confirmacionProceso();
void iniciarInyeccion();
void confirmacionNuevoProceso();
int obtenerDatoIngresado();

```



```

void setup() {
  waterFlow = 0;
  attachInterrupt(0, pulse, RISING);
  pinMode(ledPower , OUTPUT);
  pinMode(ledState1 , OUTPUT);
  pinMode(ledState2 , OUTPUT);
  pinMode(ledState3 , OUTPUT);
  pinMode(buzzer , OUTPUT);
  pinMode(minibomba , OUTPUT);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  digitalWrite(ledPower , LOW);
  digitalWrite(ledState1 , LOW);
  digitalWrite(ledState2 , LOW);
  digitalWrite(ledState3 , LOW);
  digitalWrite(buzzer , LOW);
  digitalWrite(minibomba , LOW);

  lcd.setCursor(0, 0); lcd.print(" PROYECTO TESINA ");
  lcd.setCursor(0, 1); lcd.print(" Ing. Electronica ");
  lcd.setCursor(0, 2); lcd.print("Universidad Nacional");
  lcd.setCursor(0, 3); lcd.print("Mayor de San Marcos");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  digitalWrite(ledPower, HIGH);
}

void loop() {
  imprimirDatosLCD(0, 0, " INGRESO DE DATOS ");
  imprimirDatosLCD(0, 1, "Con.Det.(mL/L): ");
  concentracionDetergente = obtenerDatoIngresado();
  imprimirDatosLCD(0, 2, "Vol. Agua (L) : ");
  volumenAgua = obtenerDatoIngresado();
  totalDetergente = concentracionDetergente * volumenAgua;
  imprimirDatosLCD(0, 3, ("Tot. Det. (mL): " + String(totalDetergente)));
  confirmacionProceso();
  imprimirDatosLCD(0, 0, "INYECCION DETERGENTE");
  imprimirDatosLCD(0, 1, ("Tot. Det. (mL): " + String(totalDetergente)));
  iniciarInyeccion();
  confirmacionNuevoProceso();
}

void pulse(){
  waterFlow += 1000.0 / 4945.0;
}

void sonidoBuzzerProgramado(unsigned int tiempoMiliSegundos){

  digitalWrite(buzzer, HIGH);
}

```

```

    delay(tiempoMiliSegundos);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
}

int obtenerDatoIngresado(){
    String datoIngresado = " ";
    char teclaPresionada = ' ';
    int datoEntero = 0;
    while(teclaPresionada != 'D'){
        teclaPresionada = customKeypad.getKey();
        if(teclaPresionada && teclaPresionada != 'D'){
            datoIngresado += teclaPresionada;
            lcd.print(teclaPresionada);
            sonidoBuzzerProgramado(50);
        }
        delay(100);
    }
    sonidoBuzzerProgramado(200);
    datoEntero = datoIngresado.toInt();
    return datoEntero;
}

void imprimirDatosLCD(unsigned int posicionX, unsigned int posicionY,
String texto){
    lcd.setCursor(posicionX, posicionY);
    lcd.print(texto);
}

void confirmacionProceso(){
    while(customKeypad.getKey() != 'B');
    sonidoBuzzerProgramado(200);
    lcd.clear();
    digitalWrite(ledState1, HIGH);
}

void iniciarInyeccion(){
    char teclaElegida = ' ';
    imprimirDatosLCD(0, 2, "Listo, iniciar? ");
    do{
        while(!(teclaElegida = customKeypad.getKey()));
        if(teclaElegida == 'A') return;
    } while (teclaElegida != 'A' && teclaElegida != 'C' );

    sonidoBuzzerProgramado(200);
    lcd.print("-");
    sonidoBuzzerProgramado(500);
    delay(500);
    lcd.print("-");
    sonidoBuzzerProgramado(500);
}

```

```

delay(500);
lcd.print("OK");
sonidoBuzzerProgramado(800);
digitalWrite(ledState2, HIGH);
analogWrite(minibomba, 100);
lcd.setCursor(0, 3); lcd.print("LLENANDO: ");
while(waterFlow <= totalDetergente){
    lcd.setCursor(10, 3);
    lcd.print(waterFlow);
    lcd.print(" mL");
    delay(100);
}

digitalWrite(minibomba, LOW);
digitalWrite(ledState3, HIGH);
sonidoBuzzerProgramado(500);
delay(2500);
lcd.clear();

imprimirDatosLCD(0, 1, " PROCESO ");
imprimirDatosLCD(0, 2, " COMPLETADO. ");
digitalWrite(ledState1, HIGH);
digitalWrite(ledState2, HIGH);
digitalWrite(ledState3, HIGH);
sonidoBuzzerProgramado(800);
digitalWrite(ledState1, LOW);
digitalWrite(ledState2, LOW);
digitalWrite(ledState3, LOW);
lcd.clear();
delay(800);
imprimirDatosLCD(0, 1, " PROCESO ");
imprimirDatosLCD(0, 2, " COMPLETADO. ");
digitalWrite(ledState1, HIGH);
digitalWrite(ledState2, HIGH);
digitalWrite(ledState3, HIGH);
sonidoBuzzerProgramado(800);
digitalWrite(ledState1, LOW);
digitalWrite(ledState2, LOW);
digitalWrite(ledState3, LOW);
lcd.clear();
delay(800);
imprimirDatosLCD(0, 1, " PROCESO ");
imprimirDatosLCD(0, 2, " COMPLETADO. ");
digitalWrite(ledState1, HIGH);
digitalWrite(ledState2, HIGH);
digitalWrite(ledState3, HIGH);
sonidoBuzzerProgramado(800);
digitalWrite(ledState1, LOW);
digitalWrite(ledState2, LOW);
digitalWrite(ledState3, LOW);

```

```
    while(!customKeypad.getKey());  
  }  
  
  void confirmacionNuevoProceso(){  
    sonidoBuzzerProgramado(200);  
    lcd.clear();  
    imprimirDatosLCD(0, 1, " INICIAR NUEVO ");  
    imprimirDatosLCD(0, 2, " PROCESO? ");  
    while(customKeypad.getKey() != '#');  
      sonidoBuzzerProgramado(1000);  
    lcd.clear();  
    digitalWrite(ledState1, LOW);  
    digitalWrite(ledState2, LOW);  
    digitalWrite(ledState3, LOW);  
    waterFlow = 0.0;  
  }
```