

SISTEMA CONTROLABLE DE BOMBA DE JERINGA PARA MICRO FLUIDOS

FÉLIX ANTONIO GARCÍA LÓPEZ

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Director

Manuel Alejandro Ospina Alarcón

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

OCTUBRE 2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Este proyecto trata sobre el diseño y fabricación de una bomba de jeringa. La bomba es accionada por un motor paso a paso, que está controlado por Arduino con UI (user interface) y una aplicación de Android para celular mediante control remoto vía Bluetooth. Se diseñó una bomba de jeringa utilizando software de diseño asistido por computador (CAD) y se fabricó utilizando una impresora RepRap 3D. El dispositivo está controlado por una aplicación de Android que está instalada en un celular y con programas escritos por Arduino. El prototipo ha sido creado y probado. El diseño se adapta a las necesidades de una determinada actividad de investigación que requiera una bomba de jeringa, incluida la dosificación cuidadosamente controlada de reactivos y monómeros. Todo el proyecto se crea para uso interno de la empresa ColorQuimica.

Para alcanzar los objetivos del proyecto, fue necesario realizar una investigación a fondo de la necesidad ya que se necesitaba un dispositivo capaz de dosificar el líquido en pequeñas gotas durante períodos prolongados. Se investigó y se validó la idea de la bomba de jeringa ya que esta es muy usada en medicina en el suministro de líquidos intravenosos en los pacientes y estos manejan caudales pequeños que es lo que se necesita para las reacciones químicas con las que se trabaja. Se diseñó un sistema controlable de bomba de jeringa para micro fluidos que se usan en el laboratorio.

Con esta implementación se logró optimizar el proceso de las reacciones, controlando los parámetros químicos principales de acuerdo a las formulas dadas y así se disminuyó el riesgo a que las reacciones se salieran de control y que no dieran el producto final

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

correctamente. Se mantiene los ciclos de concentración de reacciones en las probetas y por ende se garantiza el buen estado de los reactores y demás accesorios con que se cuenta.

Palabras clave: Bomba de jeringa, impresión 3D, Arduino, CAD

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Son muchas personas que han contribuido con el proceso y conclusión de este trabajo. En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme tener tan buena experiencia dentro de mi universidad, gracias a mi universidad por permitirme convertirme en un profesional en lo que tanto me apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación, agradezco a mi tutor por el apoyo e interés que demostró para que este proyecto se llevara a cabo, a mi familia por su apoyo durante todo este proceso de formación, a la empresa Colorquímica por brindarme la oportunidad y confianza de realizar las prácticas y desarrollar el proyecto asignado.

Félix Antonio García López.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

Rep Rap	Replication Rapid Prototypers (Replicación de prototipos rápidos)
SPM	Steps Per Mililiter (pasos por mililitro)
CAD	Computer-Aided Design (diseño asistido por computadora)
PLA	Ácido poliláctico
PVC	Policloruro de vinilo
PE	Polietileno

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

SISTEMA CONTROLABLE DE BOMBA DE JERINGA PARA MICRO FLUIDOS.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. MARCO TEÓRICO	11
3. METODOLOGÍA	19
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	35
REFERENCIAS	37

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Bomba Peristáltica con sistema lineal. Fuente: Portal Biomédico, Bombas de infusión Conceptos Básicos, 22 de febrero del 2019	13
Figura 2. Bomba peristáltica con sistema rotatorio. Fuente: Portal Biomédico, Bombas de infusión Conceptos Básicos, 22 de febrero del 2019	13
Figura 3. Bomba de infusión volumétrica. Fuente: CareFusion, Bomba de Infusión, http://www.carefusion.es , 22 de febrero del 2019.....	14
Figura 4. Bomba de infusión de jeringa. Fuente: CareFusion, Bomba de Jeringa, http://www.carefusion.es , 22 de febrero del 2019.....	15
Figura 5. Bomba de infusión elastomérica. Fuente: Victus, Especificaciones Técnicas de bombas de infusión, www.victus.com , 22 de febrero del 2019	16
Figura 6. Bomba de infusión de casete. Fuente: Macor, Sistemas de Infusión Modulares, http://www.macor.com.ar , 22 de febrero del 2019.....	17
Figura 7. Bureta, Materiales e instrumentos de un laboratorio químico. Fuente: Laboratorio químico https://www.tplaboratorioquimico.com/ , 5 de marzo del 2019	18
Figura 8. Diagrama de flujo proceso de dosificación Fuente: Elaboración propia	20
Figura 9. Soporte jeringas, según volumen. Fuente: Elaboración propia	22
Figura 10. Chasis bomba de jeringa Fuente: Elaboración propia	22
Figura 11. Acarreo jeringa Fuente: Elaboración propia	23
Figura 12. Descripción de partes Fuente: Elaboración propia.....	23
Figura 13. Montaje final Fuente: Elaboración propia	25
Figura 14. Válvula de tres vías.	30
Figura 15. Modelo Final presentado.	31
Figura 16. Caja de control y potencia de la bomba de jeringa	32
Figura 17. Aplicación Android del celular para control de parámetros de la bomba de jeringa.....	33
Figura 18. Conexión de motor con controlador y Arduino	34

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Referencia dosificación de producto a reactor	20
Tabla 2. Pruebas con la bomba de jeringa en el laboratorio.....	27
Tabla 3. Validaciones de medición propuestas por el ingeniero.....	28

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

En el laboratorio de Colorquímica se tiene un sistema encargado de la dosificación de monómeros a los reactores. Este proceso consiste básicamente en un reactor con una tapa de teflón o vidrio, con varias entradas circulares donde van varias buretas ya cargadas con los monómeros, iniciadores y preemulsiones para la reacción, todas las dosificaciones son controladas manualmente y se gradúa el caudal con la válvula de cada bureta cierto tiempo, esto dado por fórmula ya establecida.

Para la preparación de los iniciadores o preemulsiones que son usados en las reacciones se utilizan monómeros y solventes que ayudan a la estabilización de la reacción, primero se agrega un iniciador soluble en agua, el cual empieza a descomponerse y genera radicales libres, los cuales entran a las micelas hinchadas para reaccionar con el monómero que está dentro de ellas y así iniciar la reacción de polimerización. Después se agregan la preemulsión por dosificación de goteo, una vez que la reacción de polimerización inicia, a estas micelas se les denomina partículas. Iniciada la reacción, el monómero dentro de las partículas es rápidamente consumido, pero el monómero de las gotas es transferido hacia las partículas para mantener la reacción. La reacción de polimerización termina dentro de una partícula cuando entra otro radical o cuando se transfiere la cadena a un monómero y el nuevo radical generado sale de la partícula.

El proyecto consistió en mejorar las condiciones de dosificación, automatizar el proceso con el fin de tener más exactitud y precisión al momento de la dosificación de los líquidos al reactor y así garantizar más precisión en la reacción de acuerdo a la fórmula dada por los ingenieros químicos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se diseñó un sistema de control industrial automatizado para: controlar caudal y tiempo, garantizando la correcta dosificación de iniciadores y preemulsiones; se cambió la bureta por una jeringa con el fin de disminuir los errores que se generaban al momento de dosificar manualmente: acondicionar un control de conductividad para mantener los ciclos de dosificación en los intervalos requeridos (iniciador: 0.06 – 0.4 ml/min, preemulsiones: 1.7 – 5.8 ml/min) y así evitar que las reacciones se dañen y se pierda el tiempo que se utilizó en el proceso.

El proyecto se realizó con un diseño mecánico de bomba de jeringa, que consta de una base CAD impresa en 3D y una aplicación de Android que es instalada en un celular, para la manipulación de parámetros que se deseen según sean necesarios. Este proceso se implementará inicialmente en un solo reactor para verificaciones, se trabajará como proyecto piloto, luego se implementará a los demás reactores para automatizarlos.

Con el fin de cumplir eficazmente cada una de las actividades antes expuestas, el presente proyecto se organiza de la siguiente manera: En el marco teórico se presentan los conceptos básicos y los tipos de bombas de jeringa que hay, ya que estas son base fundamental para el diseño y metodología de trabajo para la creación de la aplicación y selección de controladores. En la sección 3, se encuentra la metodología utilizada para la ejecución del proyecto. La sección 4, da la explicación de implementación de los sistemas, su funcionamiento, equipos instalados y programación del control tanto de la aplicación como del controlador, además se registran los resultados obtenidos en las pruebas de dosificación. Por último, en la sección 5 se reportan las conclusiones y trabajos futuros

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Para la dosificación de líquidos químicos en los laboratorios de Colorquímica se emplean un conjunto de operaciones cuya finalidad es crear una reacción controlada. El objetivo principal es obtener resultados de ensayo de fórmulas nuevas que se van probando o de producto muestra para clientes.

En la actualidad los sistemas de infusión se trabajan en el área farmacéutica, empleadas para la dosificación de drogas y soluciones parenterales con altas precisiones que no podrían ser alcanzados con equipos accionados manualmente o dependientes de la gravedad.

Sistema de infusión

En Rodríguez, 2006, “Actualmente los avances en la electrónica y el desarrollo de la farmacología han generado una serie de necesidades y desarrollos en los sistemas de infusión, permitiendo un manejo adecuado en la administración de drogas y soluciones parenterales con altas precisiones que no podrían ser alcanzados con equipos accionados manualmente o dependientes de la gravedad”.

Una bomba de infusión es un sistema electromecánico que permite ser manipulado para entregar soluciones intravenosas de alimentación parenteral y enteral, aplicación de analgésicos, quimioterapia, insulina subcutánea y autotransfusión. Los usuarios suelen ser pacientes post-operatorios, en unidad de cuidados intensivos y neonatología, entre otros. De acuerdo con el tipo de bomba empleada y a su complejidad, se pueden programar o

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

seleccionar parámetros adicionales tales como la vía de administración, el tipo de dosificación, y habilitar diferentes modalidades de administración.

Bombas peristálticas

Se comprime un conducto flexible en forma progresiva desplazando el contenido en su interior a medida que la compresión va avanzando por el conducto. Las bombas peristálticas suelen ser más precisas que las bombas de casete o de jeringa ya que la presión y rozamiento al que se ve sometido continuamente provocan su deformación, obteniendo como resultado un incremento de la flexibilidad y tamaño de la luz del tubo.

Este tipo de bomba está diseñada para la administración de mezclas nutritivas por medio de sondas naso gástricas. El amplio rango de regulación de sus caudales, como de su velocidad y volumen cubre procedimientos desde neonatos de bajo peso hasta adultos. Dentro de esta clasificación se distinguen dos tipos de bombas de infusión peristálticas, las bombas peristálticas lineales y las rotatorias.

Bombas peristálticas lineales

En la Figura 1 se aprecian los principales elementos de una bomba peristáltica. Poseen una línea de discos en forma de dedos que comprimen el tubo con un movimiento continuo, forzando el líquido fuera del contenedor hacia el paciente, a diferencia del sistema rotatorio el tubo se encuentra en una guía lineal compuesta de rodillos, siendo esta la más común.

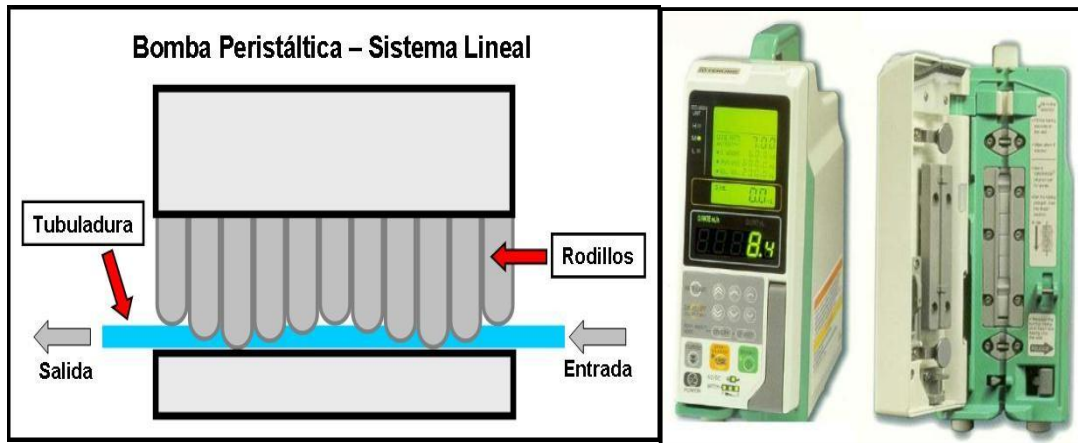


Figura 1. Bomba Peristáltica con sistema lineal.

Fuente: Portal Biomédico, Bombas de infusión Conceptos Básicos, 22 de febrero del 2019

Bombas peristálticas rotatorias

La bomba peristáltica rotatoria (ver Figura 2) se compone de un tubo flexible que se encuentra dentro de un sistema rotatorio de rodillos. Cada bomba de infusión cuenta con un número variable de rodillos en su rotor que comprimen el tubo en diferentes puntos. Cuando el rotor gira, comprime el tubo forzando al fluido a desplazarse. De esta forma, una porción de fluido que entra es desplazado por el moviendo del rotor hasta la salida.

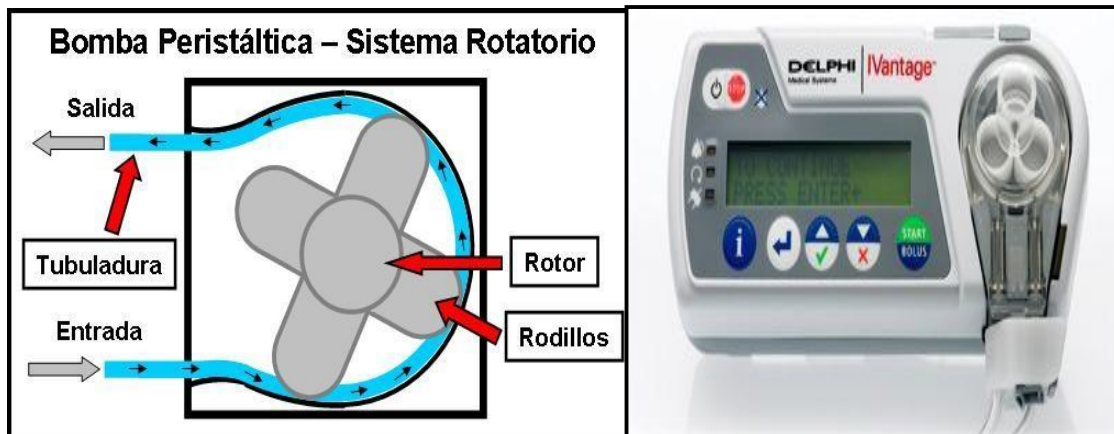


Figura 2. Bomba peristáltica con sistema rotatorio.

Fuente: Portal Biomédico, Bombas de infusión Conceptos Básicos, 22 de febrero del 2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Bombas volumétricas

Este tipo de bombas consta de un infusor electrónico, siendo más exactas que las peristálticas siempre que la limpieza se haga correctamente, ya que cualquier burbuja de aire en la cámara de bombeo, provoca errores en la cantidad de fluido que se infunde (ver Figura 3).



Figura 3. Bomba de infusión volumétrica.

Fuente: CareFusion, Bomba de Infusión, <http://www.carefusion.es>, 22 de febrero del 2019

Funcionan con energía eléctrica o baterías, suelen funcionar a casete, que incluye válvulas, membranas flexibles o pistones que regulan el flujo. La velocidad de flujo puede seleccionarse en milímetros por hora o bien en microgramos por hora. Suelen tener alarma y cierre automático en caso de oclusión o aire en el sistema. Otras características adicionales incluyen: infusión a 1 o 2 vías paralelas; otras alarmas e interfaces computarizadas con posibilidad de registro.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Bombas de jeringa

Este tipo de bombas son utilizadas cuando se requiere suministrar volúmenes bajos y tasas de flujo bajas, ya que permiten un control del embolo de la jeringa. La tasa de suministro puede ser continua o en pasos, en un tiempo determinado. Normalmente tienen más precisión que las bombas peristálticas, pero a la vez permiten manejar volúmenes pequeños y perfusiones a baja velocidad (ver Figura 4).



Figura 4. Bomba de infusión de jeringa.

Fuente: CareFusion, Bomba de Jeringa, <http://www.carefusion.es>, 22 de febrero del 2019

El mecanismo se compone principalmente de:

- Microprocesador donde se programa el control de la infusión.
- Una jeringa que controla el flujo con gran exactitud.
- Motores paso a paso de corriente continua.
- Sistemas de control y alarmas.
- Batería.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Bombas elastoméricas

Son bombas desechables que están compuestas simplemente de un reservorio de material elástico o flexible semejante a un balón que se expande al introducir la solución a infundir, la cual genera una presión constante forzando la solución a la salida y controlando su flujo a través de un tubo que limita el flujo. La exactitud es baja y depende en gran medida de la temperatura y la viscosidad de la solución. Suelen utilizarse para pacientes ambulatorios o en situaciones especiales como pacientes oncológicos, cuidados paliativos, terapéutica anti-infecciosa o analgésica (ver Figura 5).



Figura 5. Bomba de infusión elastomérica.

Fuente: Victus, Especificaciones Técnicas de bombas de infusión, www.victus.com , 22 de febrero del 2019

Bomba de casete o pistón

La bomba tipo casete tiene algunas variaciones, su tipo de acción es similar a una de jeringa, cuyo émbolo es dirigido por un motor que se mueve hacia dentro y hacia fuera de un cilindro. El movimiento hacia dentro empuja el líquido fuera del casete hacia el paciente, mientras el movimiento hacia fuera absorbe líquido del contenedor para llenar nuevamente el casete. El otro tipo de casete es un mecanismo de diafragma que actúa como un pistón, que desplaza una fracción de un mililitro de fluido hacia el paciente con cada movimiento hacia dentro, y permite al diafragma volver a llenarse con cada movimiento hacia fuera.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Este mecanismo entrega el líquido en cantidades fijas de volumen, pudiendo variar el flujo (ver Figura 6).

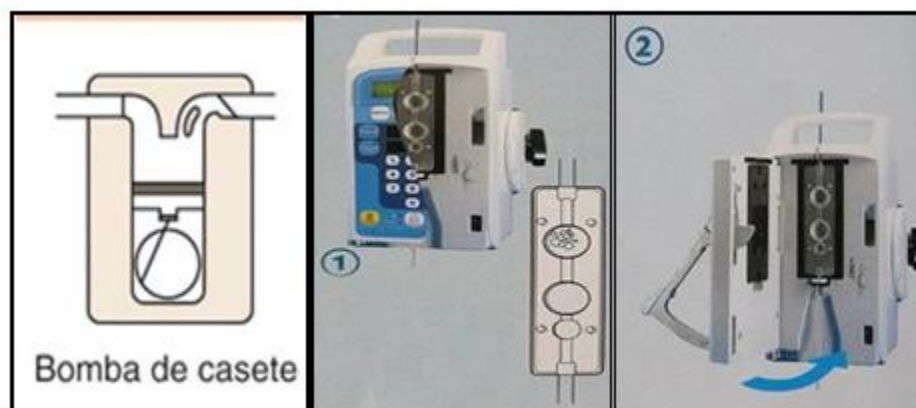


Figura 6. Bomba de infusión de casete.

Fuente: Macor, Sistemas de Infusión Modulares, <http://www.macor.com.ar>, 22 de febrero del 2019

Bureta

La bureta se utiliza para emitir cantidades variables de líquido con gran exactitud y precisión. La bureta es un tubo graduado de gran extensión, generalmente construido de vidrio. Posee un diámetro interno uniforme en toda su extensión, esta provista de una llave o adaptadas con una pinza de Mohr, que permite verter líquidos gota a gota (ver Figura 7).

Utilización

- Al trabajar con una bureta, mantener ésta en posición vertical, fijándola en un soporte universal.
- Antes de proceder, la bureta habrá de enjuagarse con varias porciones pequeñas de la solución con la cual se llenará.
- Llenar la bureta por encima de la marca de 0,00mL.
- Algunas buretas tienen depósitos especiales para facilitar su llenado, pero si es necesario se pueden llenar con la ayuda de una pipeta graduada, o vertiendo el líquido a través de un embudo desde un frasco.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Abrir la pinza que cierra el pico de la bureta permitiendo que éste se llene.
- Examinar que no queden burbujas de aire, eliminándolas si las hay (para ello tapar con un dedo el orificio de salida del pico, sacar la pinza y presionar sucesivamente la goma hasta eliminar todas las burbujas; si es necesario, volver a llenar la bureta nuevamente, siempre por encima de la marca de 0,00 ml)
- Secar por fuera el pico de la bureta.
- Apoyando el pico en la pared limpia y seca del recipiente usado para descartar líquidos, abrir la pinza hasta que el nivel del líquido llegue a 0,00 ml, es decir, la base del menisco deberá ser tangente al trazo que marca 0,00 ml. Los ojos deberán estar a la altura de dicho trazo.
- Durante la valoración, se ha de observar cuidado especial al manejar la llave de la bureta o la pinza de Mohr que se utiliza para cerrar el pico. Ésta se manejará con la mano no hábil, de manera que la mano rodee la bureta, y con los dedos se pueda realizar la presión necesaria en la pinza para dejar salir el líquido. La mano hábil queda así en libertad para agitar el matraz de valoración.



Figura 7. Bureta, Materiales e instrumentos de un laboratorio químico.

Fuente: Laboratorio químico
<https://www.tplaboratorioquimico.com/>, 5 de marzo del 2019

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

La metodología implementada se basa en un proceso de sistema de infusión el cual se usa para proceso de administración de medicamentos a pacientes.

Se implementa este proceso a la administración de líquidos químicos, para los cuales se necesitan el funcionamiento de precisión que estos sistemas tienen.

DEFINICIÓN:

Primero se caracterizó el proceso de dosificación (ver Figura 8) identificando la tarea que realiza el operario. El operario es el encargado de preparar la mezcla del producto, el cual después pasa al reactor por medio de buretas; el principio de funcionamiento de estas es que, por medio de una válvula regulable, dosifica el líquido químico al reactor, estos procesos se realizan manualmente.

El proceso inicia con una formula previamente diseñada y aprobada por el ingeniero químico, después el personal del laboratorio prepara esta fórmula en probetas, luego de este proceso se pasa a las buretas que están en la tapa (previamente diseñada con los orificios donde van estas piezas) del reactor para su dosificación, la cual se realiza por medio de la válvula que tiene la bureta, cada cierto tiempo tienen que estarla regulando según como vaya la reacción y según tiempos establecidos antes en las fórmulas.

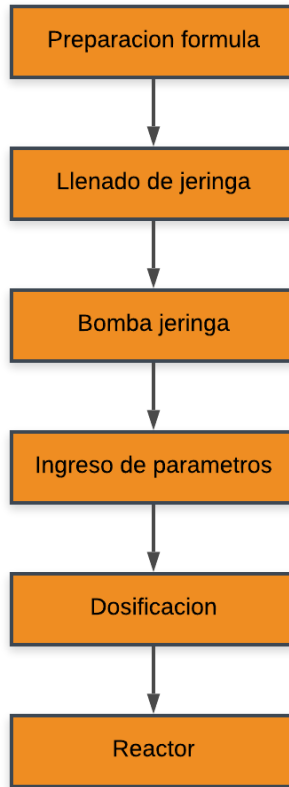


Figura 8. Diagrama de flujo proceso de dosificación
Fuente: Elaboración propia

Una vez conocida la fórmula de ensayos de aplicación o de muestras a clientes, se conocen los productos que pasan por cada bureta, ya que en algunos casos algunos son más viscosos que otros. Dependiendo de la formula los cambios de productos pueden variar (ver Tabla 1).

Tabla 1. Referencia dosificación de producto a reactor

PRODUCTO	VOLUMEN (ml)	TIEMPO DE DOSIFICACION (h)
Iniciador	50 (oscila entre 20 y 60)	3.5 (oscila entre 2.5 y 6)
Preemulsión	650 (oscila entre 500 y 700)	3 (oscila entre 2 y 5)

Fuente: Elaboración propia

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para cada uno de los productos mencionados, algunas buretas se calibran diferentes, estos parámetros son los que se tuvieron en cuenta al momento de diseñar la bomba de jeringa, se deben ajustar ciertas partes que lo conforman como por ejemplo la jeringa que se usa en la dosificación que puede variar en jeringas con volúmenes de 50ml, 20ml o 10ml según requiera el proceso, esto para garantizar una dosificación precisa y exacta. Todas las piezas que deben cambiarse o ajustarse son especificadas en cada formato de la formula dada para las reacciones que se van a realizar.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se diseñó en CAD (ver Figuras 9, 10 y 11) el modelo que se acopló a la cabina donde está instalado el reactor, este posteriormente se imprimió en impresora 3D y se validó con el ingeniero a cargo de las reacciones el material de impresión que fuera compatible con las propiedades de los químicos que se usan para las mezclas. Como resultado se obtuvo que el material que se usa regularmente para las impresiones el PLA (ácido poliláctico) se podía usar para la impresión del diseño realizado en CAD.

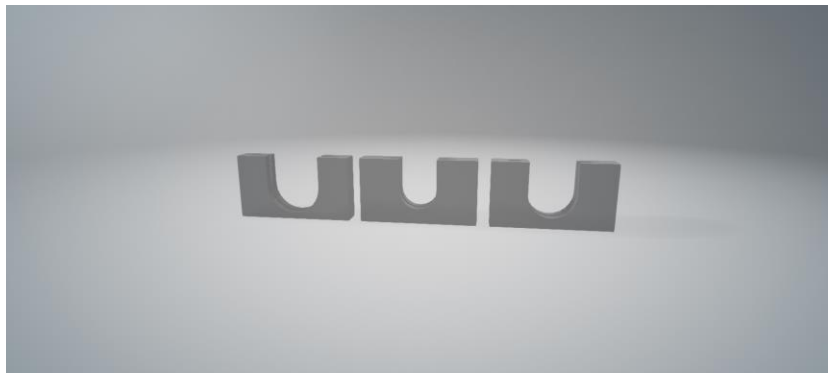


Figura 9. Soporte jeringas, según volumen.
Fuente: Elaboración propia

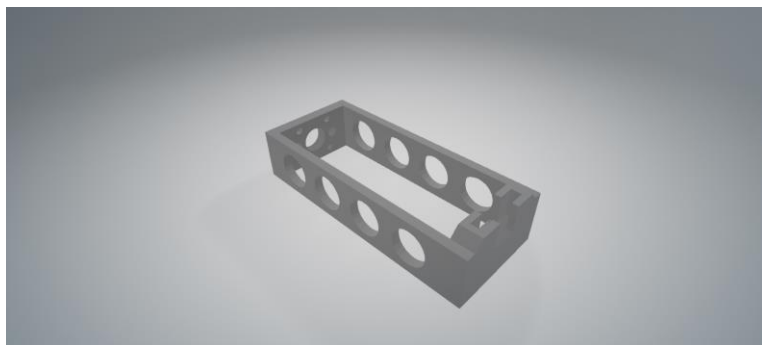


Figura 10. Chasis bomba de jeringa
Fuente: Elaboración propia

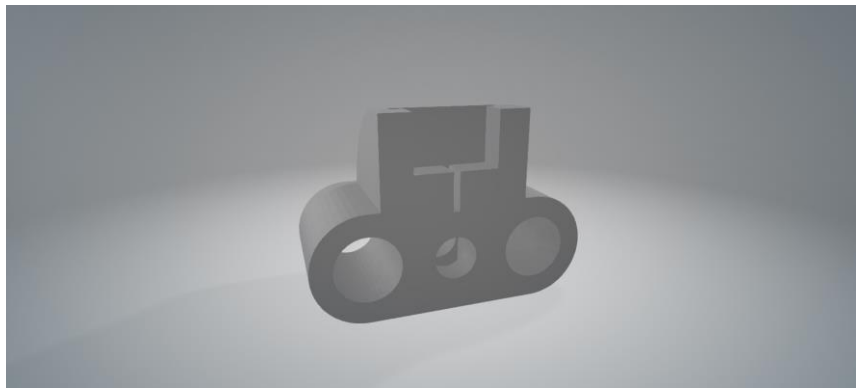


Figura 11. Acarreo jeringa
Fuente: Elaboración propia

Después de imprimir el diseño CAD se procedió a ensamblar con las demás piezas previamente ya seleccionadas y compradas (ver Figuras 12 y 13).

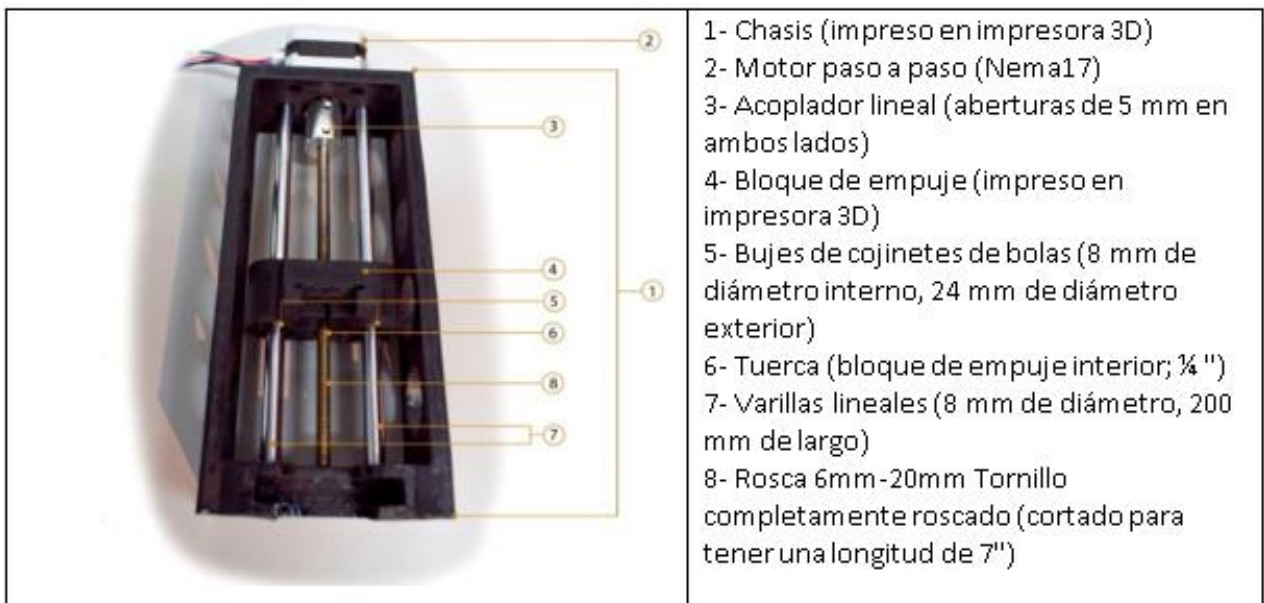


Figura 12. Descripción de partes
Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el montaje se procedió a programar en Arduino el funcionamiento del motor paso a paso, quien es el que controla la velocidad y el embolo con el cual se mueve la jeringa para dosificar.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para poder realizar la programación se tuvo en cuenta la relación del paso del motor con el paso del eje roscado y con el volumen de la jeringa que se usa para la dosificación, quedando entonces un parámetro en la programación de la siguiente manera:

$$\text{spm} = (\text{ThreadDensity} * (360 / \text{stepAngle})) / (3.1415 * \text{square}(\text{Diameter} / 2.0) / 1000.0);$$

$$\text{ThreadDensity [revoluciones / mm]} * 200 [\text{pasos / revolución}] / \{\text{Pi} * r^2 / 1000\} [\text{mL / mm}]$$

Donde:

ThreadDensity: Paso del eje roscado

360: Angulo completo de un circulo

stepAngle: Paso del ángulo del motor

3.1415: Pi

square: Raíz cuadrada en Arduino

Diameter: Diámetro de la jeringa en uso

2.0: De la fórmula del área de un circulo

1000: Se divide en 1000 para convertir a mm

Una vez definida la ecuación de trabajo del sistema, se procedió a programar el movimiento del motor según la librería AccelStepper, la cual controla la velocidad y aceleración del motor, además de esto, esta librería contiene internamente un parámetro con un encoder para saber la posición en la que está el motor, esto para tener una mayor eficiencia. Se crearon varios parámetros para detención del motor, para reseteo de posición del motor, para configurar los pasos por milímetros que va a dar según el volumen que se tenga en la jeringa. Después de definidas estas funciones se programaron los eventos de obtención de parámetros que se van a recibir desde la aplicación del celular, estos son para configuración de la bomba en general, como lo son: volumen inicial, volumen a cargar, volumen a dosificar, volumen de la jeringa usada, también el caudal de dosificación, tiempo de dosificación, volumen a dosificar, estos últimos también se usan para cargar la jeringa.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Después de tener todos estos parámetros definidos se inició el movimiento del motor según lo programado. Estos parámetros definen las condiciones iniciales del sistema, además de esto en la pantalla inicial también están los botones de inicio y carga de la jeringa, opción de stop y también hay un botón de pausa, este último se usa según como vaya la reacción del sistema, para esto el operario debe estar presente durante la reacción y si se presenta alguna novedad se da en el botón pausa para verificar en que proceso va, o según la formula como se debe proceder.

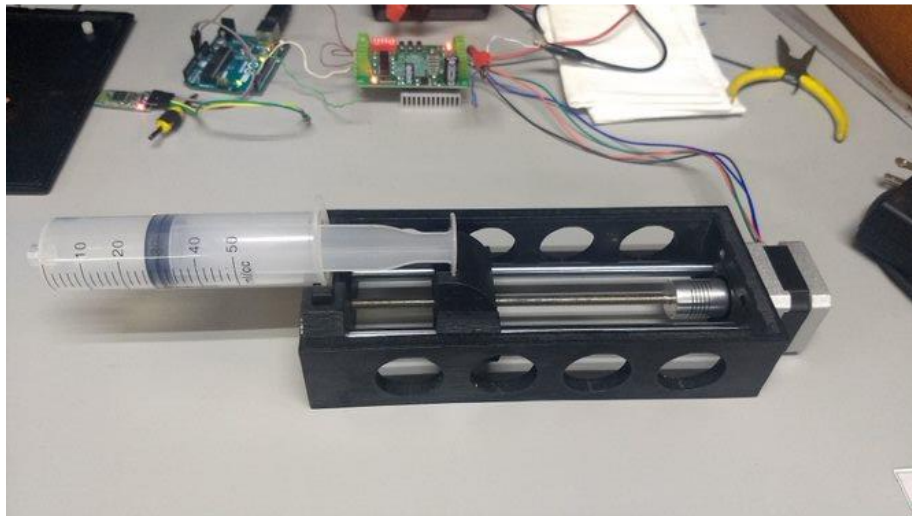


Figura 13. Montaje final
Fuente: Elaboración propia

Para la conexión con el motor paso a paso se usó un controlador TB6560 que trabaja a 24v que son los que consume el motor, ya que el Arduino solo consume hasta 12. Se seleccionó este controlador pues permite regular la corriente que puede consumir, además de esta regulación tiene un parámetro de seguridad, el que indica que si se sobrepasa de esta corriente automáticamente corta el paso de corriente, para proteger las bobinas del motor. Estos sobreconsumos de corrientes se pueden dar por mal conexión del motor, por ponerle una carga más pesada de la que puede, estas pueden ser, ponerle un líquido muy viscoso a la jeringa, ya que este no fluye bien a través de las paredes de la jeringa, esto afecta la velocidad del motor y se puede quedar pegado entre bobinas el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

motor, esto hace que se pueda generar esos picos de corriente y es ahí donde entraría el controlador del motor para regular el consumo de corriente.

Ya teniendo el montaje listo (Ver Figura 13) y la programación del movimiento del motor, se procedió a realizar pruebas y posteriormente la validación de funcionamiento del prototipo diseñado. Estas pruebas se realizan primero con agua. En la Tabla 2 se muestran, los caudales, los tiempos, el diámetro de jeringa con que se realizan las pruebas, el volumen esperado junto con lo dosificado y el porcentaje de error.

De la Tabla 2, Se calibró la bomba de jeringa con el paso diametral, se proceden a realizar pruebas en el laboratorio con el ingeniero a cargo del laboratorio. Se realizan pruebas con varios caudales en diferentes tiempos. Las pruebas iniciales (dosificación de 50 ml) dieron muy buenos resultados en cuanto al error (1.92%) y al tiempo de dosificación (1 min), pero cuando se aumentaron los tiempos de dosificación, se observó que el error aumentaba considerablemente, teniendo que realizar un ajuste a los parámetros de programación y al tamaño de paso del eje, para disminuir el error y mejorar la precisión del dispositivo.

En la dosificación se validó con el ingeniero varias fallas; como fue la jeringa mal calibrada, el diámetro que decía la jeringa que media, realmente no era el correcto, por ejemplo la jeringa que se usó de pruebas fue la jeringa de volumen 50ml, está presentaba unas especificaciones de diámetro exterior de 30cm pero al momento de medirlo presentaba un valor por encima del real (ver Tabla 3), al momento de purgar la jeringa que se ponía a dosificar a esta le entraba aire por el embolo, un mínimo aire pero que al momento de dosificar se generaba un error que sumado a los demás se veían más las pérdidas de dosificación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 2. Pruebas con la bomba de jeringa en el laboratorio.

Pruebas Día	Caudal (ml/min)	Tiempo (min)	Dosificado (ml)	esperado (ml)	% Error
8/04/2019	Con jeringa de diámetro 30mm (50ml)				
	100	0,5	49,95	50	0,10%
	50	1	49,04	50	1,92%
	25	2	49,9	50	0,20%
	12,5	4	49,9	50	0,20%
	6,25	8	49,51	50	0,98%
9/04/2019					
	0,42	120	48,72	50	2,56%
	0,83	60	48,8	50	2,40%
10/04/2019					
	3,125	16	50,2	50	-0,40%
	0,83	60	49,12	50	1,76%
11/04/2019					
	0,334	30	9,98	10	0,20%
	0,5	20	10,1	10	-1,00%
12/04/2019					
	0,5	20	9,96	10	0,40%
	0,25	40	9,4	10	6,00%
	0,25	40	9,2	10	8,00%
	0,25	40	9,5	10	5,00%
15/04/2019					
	1	20	20,3	20	-1,50%
	0,667	30	19,96	20	0,20%
	0,5	40	19,71	20	1,45%
	1	20	19,66	20	1,70%
16/04/2019					
	1	20	20,3	20	-1,50%
	1	20	19,9	20	0,50%
	0,22	90	19,07	20	4,65%
	0,5	40	19,6	20	2,00%
	0,5	40	19,2	20	4,00%
	0,667	30	19,7	20	1,50%
17/04/2019					
	Se realizan pruebas con el ingeniero a diferentes tiempos				
22/04/2019					
	0,5	10	24,7	25	1,20%
	0,2778	90	24,8	25	0,80%
23/04/2019					
	0,1667	60	10,2	10	-2,00%
	0,33	120	39,3	40	1,75%
	0,444	90	39,74	40	0,65%
24/04/2019	Con jeringa de diámetro 20mm (20ml)				
	0,33	30	9,82	10	1,80%
	0,33	60	19,7	20	1,50%
25/04/2019	Con jeringa de diámetro 30mm (50ml)				
	0,21	240	49,84	50	0,32%
	0,833	60	49,73	50	0,54%
26/04/2019					
	0,2083	240	49,75	50	0,50%

Fuente: Elaboración propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En pruebas de varios días se valida que hubo un gran porcentaje de error. Se procede a validar con en el ingeniero, quien da varias posibles causas de este, como lo son la calibración de la jeringa (diámetro de fábrica), el peso de la jeringa con y sin líquido a dosificar. Se procedió a realizar la medición del diámetro de la jeringa y a pesar la jeringa con y sin líquido. Se realiza un a resta entre el peso de la jeringa sin líquido y la jeringa con líquido (en este caso fue de una carga completa 50ml), se obtuvo que en la jeringa queda pesando 2.58g mas de los 50g que se cargaron. Ver tabla 3.

Tabla 3. Validaciones de medición propuestas por el ingeniero.

	Esperado (mm)	Real (mm)
Diámetro de la jeringa de 50ml	30	31.5
	Jeringa vacía (g)	Jeringa con 50ml (g)
Peso de la jeringa	27.328	79.908
Error de dosificación	79.908-27.328 = 52.58	

Fuente: Elaboración propia

Se puede validar que esto (medidas que se presentan en la tabla 3) influyeron en el error que se genera al dosificar, se realizó pruebas más exactas teniendo en cuenta estos errores de medición de la jeringa de prueba, para validar si mejoraba la dosificación. En algunas pruebas realizadas también se puede observar que se pasa del volumen estimado a dosificar, esto sucede ya que al momento de pasar la manguera en el primer jeringazo del día quedan algunas gotas del líquido dosificado, que afectan estas mediciones, esto en las últimas pruebas que se realizaron se corrigió.

Inicialmente las pruebas fueron trabajadas con agua, esto para realizar la mayor cantidad de descartes posibles de errores de dosificación, luego de tener ya una gran cantidad de errores descartados y corregidos se habló con el laboratorista (analista del ingeniero), quien preparó una pequeña muestra de preemulsion y así se realizaron pruebas más reales, y se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

obtuvo más detalles reales y se validó el funcionamiento con las muestras dadas. Ya que con agua funcionó muy bien.

Una vez teniendo estas validaciones se procedió a reformular los parámetros de la programación de Arduino, para reducir estos errores que se generaban. Luego de parametrizar de nuevo se realizó pruebas y se empezó a investigar como acoplar la bomba de jeringa con el recipiente del líquido, (ya sea iniciador o pree mulsión) y con el reactor, para esto se valida que se necesita una válvula de 3 vías. En principio se encontró varios prototipos, pero ninguno que cumpliera con la opción de regular dos de las tres vías al tiempo, también fue difícil encontrar una válvula que tuviera el diámetro requerido para la boquilla de la jeringa y de las mangueras. Finalmente se logró encontrar un diseño (ver Figura 14) con el cual se trabajó para realizar las pruebas.

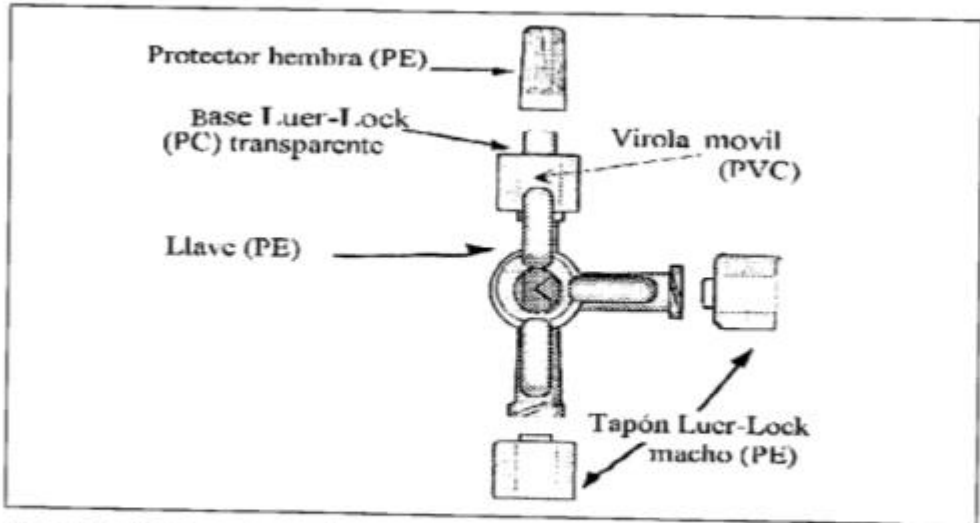
Cuando se trabajó solo con agua la válvula cumplió correctamente, pero cuando ya se trabajó con el líquido real (con mayor viscosidad) de una reacción, ésta presentó varias fallas, entre ellas el orificio de la válvula muy pequeño y los materiales de diseño de la válvula usada (Figura 14). Se validó con el ingeniero las propiedades de los materiales, se comprobó que el PVC y el PE no son compatibles con los líquidos químicos que se manejan para las reacciones.

Se validó que el material que es compatible es el teflón, por lo que se toman los planos de la válvula y se manda a realizar con los proveedores que realizan las piezas para la empresa.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



LLAVE DE TRES VIAS VYCLICK
 REF: 70876-20



Descripción: Las llaves de tres vías con una vía macho Luer-Lock y dos vías hembras Luer-Lock. Todos los racores Luer-Lock están provistos de protectores para evitar la falta de asepsia después de la apertura del blister.

Convenciones: PE (Polietileno), PC (Policarbonato), PVC (Policloruro de Vinilo)

Figura 14. Válvula de tres vías.

Fuente: <http://www.vygon.com>, 16 de mayo del 2019

- Las validaciones con las pruebas en agua lograron disminuir muchos de los errores que se podrían presentar al momento de llevar a cabo el proceso, cambiando y acoplando estos parámetros en la programación se logró obtener mejores resultados.
- En el proceso de pruebas se trabajó con mangueras de las que se usa en neumática, esto con el fin de validar si podrían ser compatibles con los químicos que se usan para la dosificación. Se detalla que no son compatibles ya que presentan demasiada

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

fricción al momento de dosificación. Se verifica que en algunos procesos que tienen en el laboratorio se usan mangueras siliconadas, por lo que se valida con el ingeniero, quien indica que estas presentan mayor estabilidad y compatibilidad con los químicos usados, por lo que se procede a indicarle al supervisor del proyecto que se deberá trabajar con estas mangueras, estas son compradas a proveedores.

- El diseño CAD original, presento varias mejoras durante el proceso de pruebas ya que donde se acopla la jeringa quedo un diámetro pequeño, por lo que no encajaba bien la jeringa de 50ml que tiene un diámetro de 30mm, para mejorarlo y acoplar esta jeringa al diseño CAD, primero se validó con el mecánico de la empresa quien con el mototool acoplo el área para que encajara a la perfección (ver Figura 15).

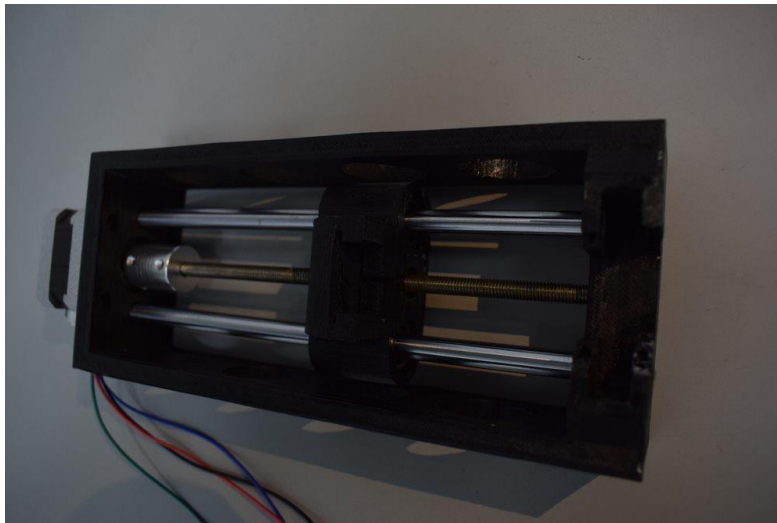


Figura 15. Modelo Final presentado.

Fuente: Elaboración propia

- El diseño de la caja de control era un prototipo que tenía el ingeniero de procesos, este se usó y se mejoró completamente para un mejor acoplamiento en el laboratorio (ver Figura 17).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 16. Caja de control y potencia de la bomba de jeringa
Fuente: Elaboración propia

- La aplicación se instala en dispositivos Android. Esta sirve para el control de los parámetros de la bomba de jeringa (ver Figura 18).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 17. Aplicación Android del celular para control de parámetros de la bomba de jeringa
Fuente: Elaboración propia

- Se realizó el plano para las conexiones eléctricas de las piezas que se utilizaron en el prototipo (ver Figura 19).

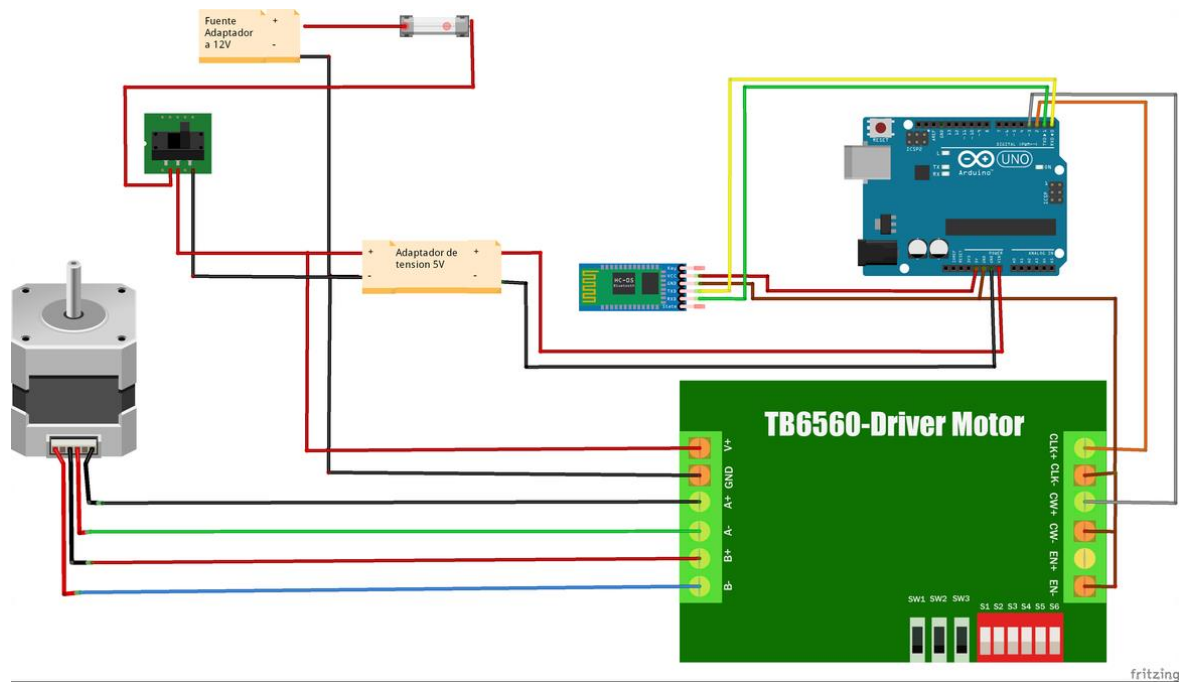


Figura 18. Conexión de motor con controlador y Arduino
Fuente: Elaboración propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Se logró el diseño una bomba de jeringa que cumplió con los parámetros indicados por el ingeniero, esto basado en las bombas de jeringas que se usan en el área de medicina, ya que cuentan con un caudal parecido que se necesitaba y de una gran precisión. Esta bomba de jeringa se modeló en CAD, imprimió en 3D y se ensambló con los demás componentes, se logró tener un prototipo funcional para presentar.
- Se desarrolló una aplicación en Android para el control y manejo de la bomba de jeringa, esto más la programación del Arduino se deja con el ingeniero de procesos, se le dejan todos los backup's, manuales de operación e informes que se realizaron durante el proceso de práctica profesional.
- Se desarrolló una caja portadora de la parte de control y potencia de la bomba, esta es instalada junto con la bomba en la cabina de los reactores en el laboratorio.
- Se verificó todo el proceso en funcionamiento con la bomba ya instalada y la aplicación de control junto con la válvula de tres vías, se acopla el área para su funcionamiento.
- Se recomendó cambiar al embolo de la jeringa por uno hecho por material de teflón para que fuera más resistente a los fluidos químicos que pasan por la jeringa.
- Realizar la práctica profesional es una experiencia necesaria para conocer cómo es el sector industrial; esto permite tener una mejor visualización del área donde se pueden aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y la importancia de buscar soluciones constantes a problemas que se presentan en planta.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Se logra adquirir un crecimiento personal muy grande por la interacción con todas las personas de la empresa, las cuales, también aportaron sus conocimientos para el desarrollo de la práctica.
- Se recomienda a los operarios tener cuidado al momento de implementar las cargas de los líquidos químicos, para que no haya desgaste del motor innecesario. Tener más cuidado y estar al pendiente de las reacciones, ya que, aunque quede el proceso automatizado, puede presentar fallas, por lo que se están trabajando con elementos químicos, cualquier reacción indebida puede ser causa de un accidente que puede perjudicar al laboratorio.
- En el momento de realizar las pruebas se validó que la carga del líquido a la jeringa no se debe realizar con mucha velocidad ya que no se genera un buen torque y esto hace que se dañe la rotación de la tuerca (que es la que se mueve) en el eje, por lo que se recomienda para una jeringa de 50 ml (que fue con la que se realizaron las pruebas), un caudal de no más de 100ml/min, ya que más de este el sistema tiende a dañarse, se queda pegado. Eventualmente se realizaron pruebas con jeringas más pequeñas para las preemulsiones.
- Como trabajos futuros se requiere tomar las medidas y diseñar el CAD con el acoplamiento de la jeringa de 50ml, adicional a esto la fabricación del o´ring en teflón junto con la válvula de tres vías para poner a funcionar el proyecto completamente con ambos procesos de iniciadores y preemulsiones.
- También como trabajo futuro se requiere comprar mangueras siliconadas ya que presentan mejor compatibilidad con los químicos que se manejan en el laboratorio
- Se proyecta validar este proceso que se implementó en un tiempo definido por los ingenieros a cargo, luego de esto, validando la funcionabilidad, se podrá acoplar a los demás reactores que hay en los laboratorios.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

Colorquímica. (2019). Página oficial. Recuperado de <http://www.colorquímica.com.co/>

Ochoa Quezada, Y. C. (2011). BOMBAS DE INFUSIÓN. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/54/1/08495.pdf>

Restrepo, J. E. (2007). Diseño y construcción de un prototipo de una jeringa de infusión para neonatología.

Rodríguez Contreras, L. M. (2006). SISTEMAS DE INFUSIÓN. Recuperado de <https://studylib.es/doc/712879/sistemas-de-infusion>



INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Código	FDE 089
Versión	03
Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Felix Antonio Garcia Lopez

FIRMA ASESOR Manuel A. Ospina A.

Se revisó el informe final de
Practica Profesional y cumple con los
requerimientos Noviembre 8 de 2019 2:30pm FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO____ ACEPTADO____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____