

Prototipo de pinza stripper automática para mezcla de líquidos anticoagulantes

David Ortega Diaz

Universidad santo tomas de Aquino

Facultad de Ingeniería electrónica

Bogotá, Colombia

Email:davidortega@usantotomas.edu.co

Resumen—Este artículo muestra el proceso de diseño y construcción de un prototipo de pinza *stripper* automática, utilizada para mezclar los líquidos anticoagulantes presentes en el tubular de una bolsa de donación con los diferentes hemocomponentes. El campo de interés se enfoca en detallar los conceptos, materiales y herramientas que fueron empleados para su construcción e implementación. Basado en un proceso de observación, el autor logra definir los estándares de calidad y tiempos de ejecución que el prototipo debe cumplir, se logra concluir que la implementación de este nueva pinza *stripper* agiliza el procesamiento de una muestra de sangre en un laboratorio, y cuida la salud de los funcionarios encargados de realizar esta tarea.

Index Terms—*stripper*, automatizar ,herramienta, proceso

I. INTRODUCCIÓN

EN la actualidad muchos de los procedimientos que se realizan en las distintas áreas de la salud, son ejecutados total o parcialmente por equipos biomédicos, esto con el fin de asegurar que los tiempos de ejecución y los estándares de calidad estén acorde a las necesidades actuales de los pacientes. Sin embargo algunos procesos aun se realizan de manera totalmente manual, como es el caso del mezclado de los líquidos anticoagulantes presentes en el tubo piloto de las bolsas de donación con los hemocomponentes. Este proceso a el que se le conoce como *stripper*, es frecuentemente realizado en los bancos de sangre y sus tiempos de ejecución y calidad no son los esperados debido a la falta de tecnificación del mismo.

Considerando lo anterior, diferentes compañías dedicadas al estudio y mejora de estos procedimientos han diseñado algunas herramientas, de las cuales se puede destacar a la pinza *stripper* manual, esta permite exprimir el tubular haciendo uso de un par de rodillos, los cuales ejercen presión cuando el funcionario cierra el mango de la pinza, la presión generada es proporcional a la cantidad de fuerza que el funcionario aplique en el mango, entre los modelos mas utilizados y conocidas están la manual tube strippers (Pinza *stripper* Manual) TS – 007, y TS – 008, fabricadas por la empresa alemana LMB technologie.

En este artículo se pretende mostrar que el modelo de pinza actual puede ser reemplazado, por uno que evite al máximo la intervención del funcionario en el proceso, y a su vez mejore los estándares de calidad y tiempo de ejecución promedio.

Las temáticas que se abordaran van desde la explicación detalla del proceso *stripper*, pasando por el planteamiento de los parámetros de diseño, posteriormente se describen el uso de las diferentes herramientas utilizadas en el proceso de fabricación y ensamblaje, y por ultimo se mostraran los resultados obtenidos.

II. MARCO TEORICO

II-A. proceso de fraccionamiento y sus etapas

En un proceso de donación, la sangre total¹ es manipulada por distintos funcionarios y equipos biomédicos, con el objetivo de descomponerla en sus principales hemocomponentes², a este conjunto de procedimientos se le conoce como proceso de **fraccionamiento**. Este tratamiento se le realiza a la sangre desde hace aproximadamente 60 años, con el objetivo de obtener y conservar de manera separada los distintos elementos que la conforman.

anteriormente, cuando un paciente necesitaba una transfusión sanguínea esta se hacia de manera directa desde el brazo del donante, lo cual resultaba peligroso debido a un probable contagio de enfermedades, además de ser poco efectivo ya que muchos de los hemocomponentes no se transfundían de manera exitosa. Desde la implementación de la cadena de fraccionamiento a finales de los años 40, es posible transfundir cualquiera de los tres componentes principales (plasma, glóbulos rojos, plaquetas) aprovechando al máximo sus propiedades, además de poder almacenarlos por una mayor cantidad de tiempo.

El proceso de fraccionamiento se divide en tres procedimientos, los cuales se explican brevemente a continuación :

- **Centrifugación:** En esta etapa inicial la bolsa de donación llega al banco de sangre y es colocada en una centrifuga, la cual es programada para girar a una velocidad, y por un tiempo determinados por el fabricante del equipo. Al finalizar dentro de la bolsa se encontraran separados los tres hemocomponentes (plasma, plaquetas, glóbulos rojos).

¹Sangre extraída de un donante en un proceso de donación

²Se le conoce con este nombre a los distintos componentes que conforman la sangre

- **Distribución:** Una vez centrifugada la bolsa esta se extrae del equipo, y mediante un separado de plasma ya sea manual o automático, se distribuyen los componentes en las bolsas satélite.
- **Sellamiento y Refrigeración:** Para finalizar cuando se han separado y distribuido los hemocomponentes, se procede a sellar el tubular de cada una de las bolsas satélite, esto para evitar derrames de líquidos. Luego se agrega el respectivo distintivo en el cual se informa el hemocomponente que tiene, su fecha de caducidad, y la entidad en la que se realizo el proceso, para luego ser almacenado en un equipo de refrigeración el cual debe estar debidamente certificado.

II-A1. proceso stripper: Este procedimiento, el cual se le debe realizar a cada bolsa contenedora de un hemocomponente antes iniciar la cadena de refrigeración, consiste en sujetar la parte superior de cada tubular con una pinza la cual en sus extremos tiene dos rodillos, luego se procede a deslizar los rodillos sobre la superficie del tubo piloto, de manera tal que los líquidos anticoagulantes, sean empujados hacia el interior de bolsa contenedora. El proceso se da por terminado, una vez la totalidad de los líquidos anticoagulantes quedan dentro. Generalmente es necesario pasar la pinza entre dos y tres veces para que el tubular quede correctamente purgado.

II-A2. Pinzas utilizadas en el proceso stripper: Como se menciono anteriormente, para poder llevar acabo el proceso *stripper* es necesario que los funcionarios cuente con la instrumentación adecuada, actualmente existen dos tipos de pinzas, las cuales fueron diseñadas exclusivamente para poder llevar acabo este procedimiento. La primera de ellas es un modelo totalmente mecánico echo en aluminio, sus rodillos se ajustan al ancho del tubular, y permiten apretarlo sin deformarlo o dañarlo, este modelo es ampliamente utilizado debido a que su costo es relativamente bajo y es fácil de manipular. Sin embargo al ser totalmente mecánica demanda un considerable esfuerzo de los funcionarios sobre todo de sus extremidades superiores (brazos y manos), lo cual con el pasar del tiempo puede ocasionarles daños en su salud.



Figura 1. Pinza *Stripper* mecánica.

El segundo modelo existente en el mercado es una pinza semiautomática, la cual cuenta con un botón en su parte inferior, que al ser presionado, el rodillo superior empieza a girar a una velocidad constante, de manera tal que se desliza por el tubular sin la necesidad de que el funcionario deba guiar la pinza. Sin embargo es necesario que el mango de esta pinza se mantenga cerrado para ejercer presión, lo cual

implica que la mano del funcionario debe mantenerse cerrada por el periodo de tiempo que dura el procedimiento, lo que a largo plazo ocasiona daños en las articulaciones y huesos de su mano.



Figura 2. Pinza *Stripper* semiautomática.

II-B. Lesiones causadas por movimientos repetitivos

actualmente, es común encontrar un gran numero de personas que padecen de algún tipo de lesión en sus extremidades superiores (manos y muñecas), causadas por realizar movimientos repetitivos durante un largo periodo tiempo, algo que es muy usual en casi cualquier entorno laboral. Entre los trastornos musculoesqueléticos³ mas comunes se encuentran:

- **Tendinitis de muñeca:** La tendinitis de muñeca, es una inflamación de los tendones⁴ de la muñeca, suele ser una patología crónica que tiene un alto índice de reincidencia, provoca dolor y un aumento de sensibilidad alrededor de la articulación. Sus principales causas son los movimientos repetitivos que involucren la flexo-extensión⁵ o desviación cubital. Entre las actividades que mas favorecen la aparición de la tendinitis se encuentran el uso de alicates, tendido de cables y el trabajo en prensas.
- **Síndrome del túnel carpiano:** "Es una afección en la cual existe una presión excesiva en el nervio mediano. Este es el nervio en la muñeca que permite la sensibilidad y el movimiento a partes de la mano. El síndrome del túnel carpiano puede provocar entumecimiento, hormigueo, debilidad, o daño muscular en la mano y dedos" [2]. Tareas como afilar, lijar, teclear, empaquetar, remachar, martillar, pulir, abrillantar, enladrillar, pueden causar la aparición del síndrome del túnel carpiano.
- **Tenosinovitis:** Esta afección es una acumulación del líquido sinovial en la vaina tendinosa, genera un fuerte dolor y limita la movilidad de la articulación, es causada por realizar tareas que requieren ejercer fuerza con la muñeca, como es el caso de los trabajos manuales, presionar o apretar con la mano y empujar con la muñeca. Entre las labores que mas favorecen la aparición de la tenosinovitis se encuentran escurrir, atornillar, las actividades que requieren el uso de alicates y el trabajo en prensas.

³Lesiones que afectan a un musculo, un hueso o un tendón

⁴estructura fibrosa que una al musculo con el hueso

⁵contraer y estirar el musculo

III-C. Uso y Polarización del sensor fotoeléctrico

Los sensores fotoeléctricos son dispositivos electrónicos, que están conformados por un emisor de luz infrarroja y un receptor, su funcionamiento es bastante simple, cuando un objeto interrumpe el haz de luz del emisor este rebota, de tal modo que es captado por el receptor, el cual tiene un fototransistor, dependiendo de la intensidad de la luz captada, el fototransistor conducirá más o menos corriente por su base, haciendo que este cambie de estado entre corte y saturación (un interruptor que se abre y se cierra), dependiendo de su polarización y su configuración este puede entregar un voltaje alto o bajo al detectar un objeto.

Esta clase de sensores se polarizan colando una resistencia de carga, desde su pin de salida, hasta la tierra en caso de ser (PNP), o a vcc en caso de ser (NPN). Son ampliamente utilizados en tareas de detección, y conteo de todo tipo de objetos, exceptuando aquellos que tiene un tono oscuro, debido a que absorben la luz infrarroja, evitando que esta rebote .

III. DISEÑO METODOLÓGICO

III-A. tipo de investigación

Según su objetivo la investigación para el diseño, elaboración, e implementación de la pinza stripper se cataloga como proyectiva. Ya que esta implica explorar, explicar y describir para proponer alternativas de cambio que en este caso específico derivaran en un prototipo para automatizar un proceso .

III-B. universo

El universo para el cual la información y los datos descritos en el siguiente artículo tienen validez y relevancia, son todos los laboratorios clínicos y áreas de la salud encargados de la recolección, procesamiento y almacenamiento de muestras de sangre Humana .

III-C. Muestra

Se considerará al personal encargado del área de fraccionamiento de la fundación hematológica Colombia (FUHECO) de la ciudad de Bogotá como la población muestra .

III-D. método

El diseño de la investigación fue de tipo campo, ya que las fuentes de donde se recolectó la información del proceso se encuentran en un contexto o entorno natural⁶ , el proceso de recolección de datos se basó en la observación y documentación del mismo con el fin de obtener un valor aproximado del tiempo de ejecución promedio y el número de veces en el que se ejecuta .

III-E. técnicas e instrumentos

Las técnicas para la recolección de datos utilizados en el presente artículo fueron los siguientes

⁶Entiéndase entorno natural como un ambiente laboral cotidiano

III-E1. entrevista: Se diseñó un formulario guía con una serie de preguntas que se le hicieron a la población muestra. Con el fin de poder establecer parámetros de diseño y conocer las necesidades más relevantes que los usuarios tienen actualmente

III-E2. observación directa: Se realizaron visitas al área de fraccionamiento en donde se pudo observar el proceso con el fin de obtener datos relevantes como: el tiempo de ejecución por muestra , y la cantidad de veces que el procedimiento se realiza diariamente .

III-E3. análisis documental: Con el fin de desarrollar un prototipo que cumpla con todos los requerimientos técnicos, es necesario utilizar la tecnología y estrategias adecuadas; para este fin se utilizarán las diferentes fuentes bibliográficas y artículos publicados en la web que contengan la información pertinente para llevar a cabo este propósito

IV. PARÁMETROS DE DISEÑO Y TIEMPOS DE EJECUCIÓN

Aplicando las diferentes herramientas metodológicas, se obtienen los siguientes resultados :

IV-A. tiempo de ejecución con pinza manual

Haciendo uso de un proceso de observación y toma de tiempos, se establece el tiempo de ejecución promedio del proceso *stripper*, utilizando la pinza manual. Los resultados obtenidos se consignan en el cuadro uno.

Cuadro I
TIEMPO DE EJECUCIÓN CON PINZA MANUAL

N de prueba	Largo tubular (cm)	Tiempo empleado (s)
1	83	62
2	80	58
3	78	53
4	82	60
5	77	50
6	72	52
7	74	52,3
8	84	64,5
9	71	48
10	81	57
Tiempo promedio total		55.7

Basado en la información previamente descrita se pueden establecer los requerimientos técnicos, que debe cumplir el prototipo:

- Como propuesta de diseño, el nuevo modelo de pinza debe asegurar una mejora en el tiempo de ejecución de al menos el 30%, lo que es equivalente a una reducción de 20 s en la duración del procedimiento.
- Con el fin de evitar que los funcionarios presenten molestias a causa de un movimiento repetitivo, el nuevo modelo debe evitar al máximo la interacción constante, además de suprimir cualquier elemento que implique realizar un esfuerzo por parte del usuario.
- El prototipo de pinza debe ser fácilmente manipulable, además de tener sistemas de alarma sonoros y visuales, que indiquen al usuario cuando el proceso a terminado.

V. DISEÑO Y ENSAMBLE DE PINZA STRIPPER AUTOMÁTICA

Teniendo en cuenta los parámetros de diseño, y con el objetivo de cumplirlos, se decide sub dividir el proceso *stripper* en tres etapas, las cuales se describen en la figura (3). Esto para poder organizar y entender, las diferentes acciones que debe realizar la pinza durante el procedimiento, y de esta manera plantear una solución a cada problema.

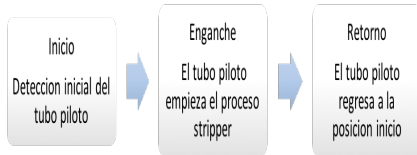


Figura 3. Etapas proceso *Stripper*

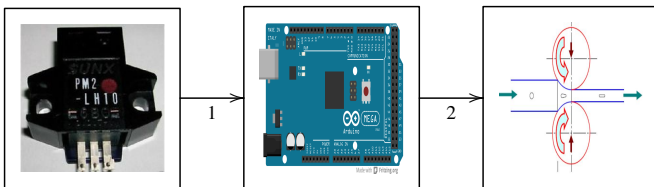
V-A. Etapa de inicio

En esta primera etapa, cuando se utiliza la pinza manual, el usuario debe sujetarla al tubular apretando el mango de la misma, de tal manera que los rodillos queden listos para deslizarse por la superficie del tubo piloto. Ahora bien como se desea que el funcionario realice la menor cantidad de esfuerzo, el nuevo diseño no tiene un mango, por lo que la distancia de separación entre los rodillos ha sido previamente fijada, de tal manera que cuando el tubular pase por ellos sea exprimido.

Para poder garantizar que el nuevo modelo de pinza sujete al tubular, es necesario que este ingrese a un riel o canal, el cual lo guiará en dirección a los rodillos, los cuales girarán lentamente y únicamente, cuando se detecta la presencia del tubo piloto. Cuando finalmente el tubular entra en contacto con los rodillos este queda sujeto y listo para iniciar el procedimiento.

La solución planteada requiere que se utilicen 3 elementos: el primero de ellos un sensor fotoeléctrico, encargado de detectar la presencia del tubular en el riel, el segundo un dispositivo lógico programable, el cual procesará la señal que entregue el sensor y dará una orden para mover o no los rodillos, y el tercero un motor de paso cuya tarea es mover los rodillos. El diagrama de flujo de proceso muestra los elementos mencionados, y la secuencia en la cual deben funcionar.

Flujo de proceso



V-A1. *Sensor MP2-LH10 ubicación y uso:* El sensor fotoeléctrico referencia MP2-LH10, tiene la función de detectar el tubular cuando este ingresa al riel, y posteriormente enviar la señal de voltaje al dispositivo lógico programable. Esta referencia específica fue incluida específicamente debido a que reúne algunas características importantes, entre las cuales se destacan: su facilidad para ensamblarse en cualquier superficie debido a que tiene orificios que permiten atornillarlo, trabaja con rangos de voltaje desde 5 a 12 V, puede detectar objetos delgados a una distancia de hasta 7mm, tiene un indicador tipo led el cual brilla cuando se detecta un objeto, puede detectar objetos oscuros .

La circuito de polarización del sensor se muestra en la figura 4:

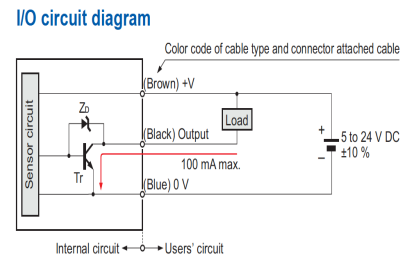


Figura 4. circuito de polarización

En la grafica anterior se puede observar que el fototransistor es del tipo (NPN), ya que su resistencia de carga va al **vcc**, lo cual indica que cuando se detecta un objeto el valor de salida de voltaje que entrega el sensor es de 0v, o un valor (LOW), es importante tener en cuenta esto, porque este dato será el que posteriormente de la condición para mover o no el rodillo. El valor de la resistencia de carga se calculo basado en la siguiente ecuación:

$$I_{cmax} \leq \frac{V_{cc}}{R} = \frac{5V}{R} \quad (1)$$

asumiendo el valor de R de $1K\Omega$ y conociendo por la hoja de datos del sensor el valor de $I_{cmax} = 100mA$, se procede a reemplazar los datos en la ecuacion obteniendo como resultado:

$$I_{cmax} = \frac{5V}{1K\Omega} = 5mA$$

Con lo cual se comprueba que el valor de la resistencia de carga asumido cumple la condición planteada en la ecuación (1).

Ahora bien, el sensor fue ubicado en una superficie plana llamada **panel frontal**, a 8 mm de distancia del riel guía, lo que deja fuera del rango de censado al canal, para garantizar que únicamente se detecte a el tubular. En la figura (4) se muestra el montaje del sensor fotoeléctrico, y la manera en la cual este se activa al detectar la presencia del tubular.

V-A2. *Arduino mega 2560 y su programación:* El segundo elemento que se utilizo fue el dispositivo lógico programable, el cual tiene la tarea de interpretar la señal de voltaje del sensor fotoeléctrico, y mover el motor de paso del rodillo, la tarjeta utilizada para la aplicación fue la arduino mega 2560, debido a su bajo costo (12 usd), disponibilidad en el mercado, y por

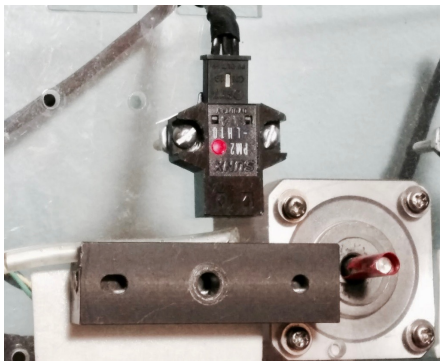


Figura 5. Montaje sensor fotoelectrico etp1

que su software de programación es de tipo open source, o libre, además de esto tiene una gran cantidad de accesorios y complementos, para manejar sensores y motores, lo cual la hace ideal para este proyecto.

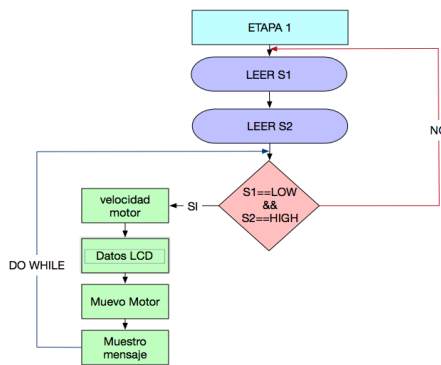


Figura 6. Algoritmo de programación etp 1

El algoritmo de programación que se utilizó se describe en la figura (6). Se puede observar que en primer lugar se lee el estado de los pines en los que están conectados los sensores fotoeléctricos, posteriormente se compara el valor de estos con una condicional simple, y luego se configura la velocidad y el sentido de giro del motor de paso, por último se muestra el mensaje de alerta al usuario, este proceso es cíclico y solo se interrumpe cuando la condición deja de cumplirse.

V-A3. Motor de paso Vexta: Como se ha mencionado anteriormente, uno de los elementos que conforman el prototipo de pinza es el motor de paso o **pap**, este actuador es el encargado de hacer que el rodillo gire en un sentido u otro, a una velocidad y con un torque específico, sin el sería imposible realizar el proceso *stripper* de manera automática. Para esta aplicación se decidió utilizar el modelo (PK245-03A) del fabricante **VEXTA**, debido a su bajo consumo de corriente respecto a otros modelos, su capacidad de entregar un torque alto a bajas y medias velocidades, y su calidad de fabricación.

Este motor es controlado con una secuencia de paso simple, la cual es la que más recomienda el fabricante para entregar un

buen torque y evitar la pérdida de pasos, el driver de potencia que se utilizó fue el A4988, fabricado por la compañía pololu. Este ofrece la ventaja de regular la corriente que se le entregará el motor, lo cual resulta ser especialmente útil cuando se desea asegurar la integridad del bobinado y alargar la vida útil del mismo.

Asimismo, para poder establecer el valor de la corriente, fue necesario aplicar la ecuación de voltaje de ajuste, la cual está expresada en la hoja de datos del driver, esta relaciona la corriente máxima que puede pasar por las bobinas del motor, con el valor que debe medir el pin de ajuste del driver. El resultado de aplicar esta igualdad se detalla en el siguiente procedimiento:

$$V_{aj} = \frac{A}{1,25} = \frac{0,28A}{1,25} = 0,22V \quad (2)$$

En donde A es el valor de corriente máxima que puede pasar por el bobinado, multiplicado por 0.7, esto para garantizar que el motor no trabaje al límite de sus capacidades y alargar su vida útil. El tornillo de ajuste debe moverse hasta que la medida de voltaje en el pin V_{aj} , sea la misma que arroja la ecuación (2). Una vez se ha configurado el driver, se procede a realizar la conexión del motor con este y la tarjeta arduino mega 2560, teniendo en cuenta el plano de la figura (7).

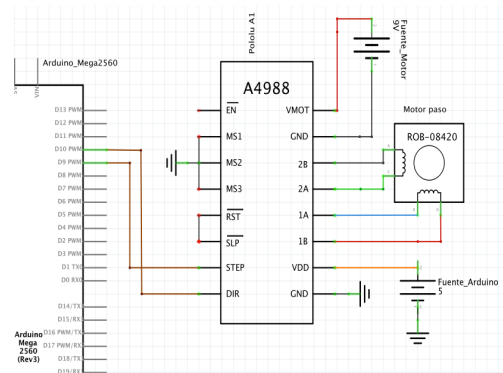


Figura 7. Plano de conexión driver, arduino y motor pap

Terminadas las respectivas conexiones, el resultado final de esta primera etapa, se puede resumir como un sistema que es capaz de detectar la presencia del tubular, e iniciar de manera automática el movimiento de los rodillos, con el objetivo de sujetar el tubo piloto para poder iniciar el proceso *stripper*.

V-B. Etapa de enganche

En esta segunda etapa del proceso, el objetivo principal es exprimir el tubular para poder mezclar los líquidos anti-coagulantes con los hemocomponentes. Previamente el tubo piloto ha quedado sujeto a los rodillos de la pinza y ahora estos deben girar a una velocidad mayor, que asegure no solo que se exprima de manera adecuada, si no que además evite halar bruscamente al tubo piloto. El primer problema que se presenta, es el saber cuando termina la etapa 1 e inicia la siguiente, la solución que se planteó fue utilizar un sensor fotoeléctrico exactamente igual al del inicio, pero ubicado al otro lado del eje del motor, es decir el sensor 1 y 2 se ubicaron

uno a cada lado del panel frontal, tal y como se puede apreciar en la figura (8).

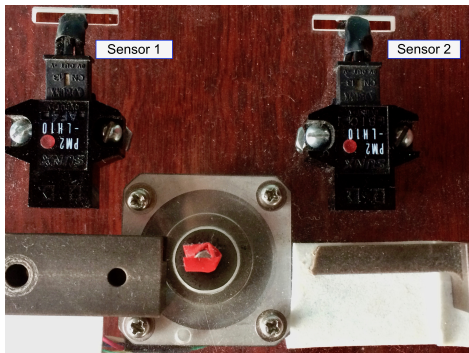


Figura 8. Distribución sensores en el panel frontal

Luego, Análogamente a la etapa anterior, se coloca un segundo riel a una distancia de 7mm del rango de censado, creando así una trayectoria en línea recta que el tubular puede atravesar sin mayores dificultades, cuando el tubo piloto inicia su desplazamiento a través de los rodillos, lentamente llegar al segundo canal en donde es detectado por el segundo sensor fotoeléctrico, el cual cambia su estado y envía la orden de iniciar la segunda fase del proceso. Esta nueva etapa continua hasta que se detecte el final del tubular, lo que será indicativo de que liquido anticoagulante se encuentra dentro de la bolsa de hemocomponentes.

V-B1. Algoritmo de programación etapa 2: En el programa que se desarrollo para la primera etapa, solo se tomaban decisiones teniendo en cuenta el estado de un solo sensor, sin embargo, con la inclusión de un segundo dispositivo es necesario realizar algunos ajustes al algoritmo previamente descrito.

Para esta etapa, el condicional que desencadena el movimiento del motor, pasa de ser simple a compuesto, es decir, no solo se evalúa que el estado del primer sensor este en (LOW), si no que también y de manera simultanea, el segundo sensor debe estar activo y detectando la presencia del tubular. Esta pequeña pero significativa modificación, da a entender que el prototipo esta diseñado para funcionar de una manera secuencial, es decir, no podrá activarse la fase dos sin antes haber completado la uno, lo cual es consecuente si se tiene en cuenta que no es posible exprimir el tubular, sin antes haber sujetado a el mismo con la pinza.

Además de modificar el condicional, fue necesario cambiar la velocidad de giro del motor por una mas alta, lo cual se logro aumentando la frecuencia en la secuencia de pulsos que controlan al motor de paso, por ultimo el mensaje que se muestra al usuario en la pantalla LCD, fue cambiado por uno que indica el numero de la etapa que se esta ejecutando. Este ciclo de instrucciones se ejecutan mientras no se detecte que el tubo piloto a llegado a su final, la figura 9 muestra el diagrama de flujo de programa utilizado para esta etapa.

Cabe resaltar que aparte de la inclusión del segundo sensor fotoeléctrico, el hardware del prototipo no fue modificado con respecto a la etapa de inicio.

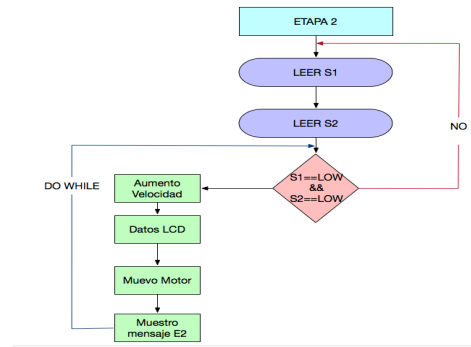


Figura 9. Diagrama de flujo de programa etapa 2

V-C. Etapa de retorno

En esta tercera y ultima etapa del proceso, el objetivo principal es detectar el final del tubular, para luego hacer que este regrese de manera automática a la posición inicial, es decir fuera de los rodillos, luego este es retirado por el usuario, dando así por terminado el procedimiento *stripper*.

Para poder detectar el final del tubo piloto, fue necesario incluir una marca o indicador, la cual pudiera ser vista fácilmente por un sensor diferente a los dos empleados en las etapas anteriores. Con este mente, se decidió colocar un pequeño anillo echo en un material ferroso alrededor de la parte final del tubular, el cual servirá para activar un sensor del tipo inductivo, especializado en la detección de este tipo de materiales.

Para esta aplicación, el sensor inductivo escogido fue el (LJ12A3-4-Z/BY), el cual es del tipo (NPN), es importante resaltar esta característica ya que tanto su diagrama de conexión como su funcionamiento, varían significativamente con respecto a los sensores previamente descritos, lo que también implica una modificación en el condicional que desencadena la etapa 3, este sensor entrega un señal alta o (HIGH) al detectar un material ferroso, por lo que cada vez que esto ocurre la tarjeta de control arduino recibe un voltaje de 5v, posteriormente se verifica que los dos sensores fotoeléctricos se encuentren detectando al tubular, para luego enviar la secuencia de pulsos que cambie el sentido de giro del motor, manteniendo la velocidad adquirida en la etapa 2.

Al cambiar la dirección de giro, el tubular realiza el mismo recorrido que en las etapas uno y dos, solo que esta vez en dirección opuesta, por lo que eventualmente quedara libre de la acción de los rodillos y podrá ser retirado por el usuario. Cabe aclarar que el motor debe detenerse para evitar un constante consumo de energía, por lo que sabiendo que el recorrido inicial y final es el mismo, basta con detectar en que momento del regreso(durante la etapa 3) el sensor de la etapa inicial deja de detectar al tubo piloto. Cuando esto ocurre se puede saber con certeza que el tubular se encuentra en el mismo punto de inicio. En la figura (10), se puede apreciar el diagrama de flujo de programa utilizado en esta etapa.

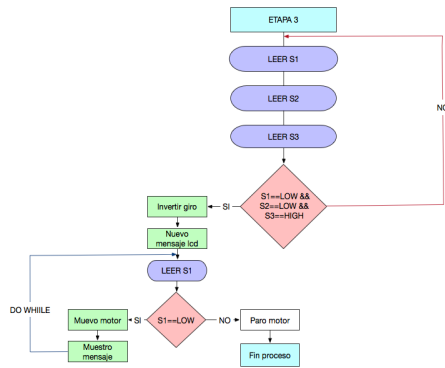


Figura 10. Diagrama de flujo de programa etapa 3

También es importante tener en cuenta la ubicación del sensor inductivo, que como se puede apreciar en la figura (11) está al lado izquierdo del sensor 1, la razón por la cual se encuentra en ese lugar, es para poder detectar el final del tubular, antes de que el anillo metálico pueda pasar a través de los rodillos lo que puede causar un daño en su integridad, también con esta distribución se evita que la bolsa de donación pueda ser exprimida por error.

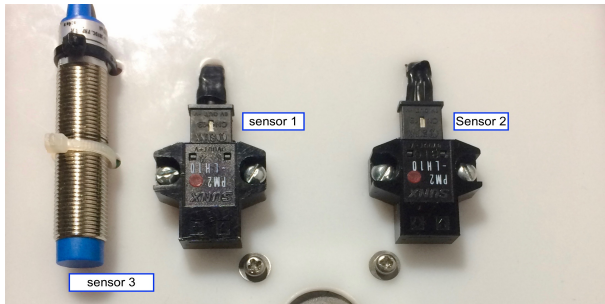


Figura 11. Ubicación sensor inductivo

VI. PIEZAS Y SOPORTES MECÁNICOS

Anteriormente se han descrito los diferentes sensores, actuadores, y tarjetas que hacen parte del nuevo modelo de pinza, sin embargo estos elementos deben trabajar en conjunto con una serie de piezas mecánicas, las cuales se diseñaron específicamente para poder cumplir los parámetros de diseño. La estructura general está compuesta de cuatro partes: El panel frontal, Los rieles guía, el soporte frontal, y un par de rodillos, los cuales una vez son ensamblados forman el cuerpo de la pinza *stripper* automática.

VI-A. Panel frontal

Esta primera pieza fue diseñada bajo la premisa de funcionar como un tablero eléctrico, en el cual están atornillados los tres sensores del prototipo, el motor de paso, y la pantalla LCD, además de los rieles guía y el soporte frontal. Este panel fue elaborado en el software inventor, el cual es de uso libre (gratuito), y fabricado en acrílico, un material ligero, resistente y fácil de limpiar.

Para diseñar el panel, se tuvieron en cuenta las medidas físicas de los agujeros de los dos sensores fotoeléctricos, el diámetro del eje del motor de paso, además de las dimensiones de la pantalla LCD. El boceto echo en el software inventor se muestra en la figura(12), se puede observar que el display fue colocado en la parte inferior de la lamina, esto para evitar que el cableado desde la placa sea muy extenso, además, el diseño es totalmente simétrico lo cual evita que el material sea desperdiciado. Para el proceso de fabricación se utilizó una máquina de corte tipo (CNC), la cual toma la información vectorial del boceto y la plasma en la lamina de acrílico.

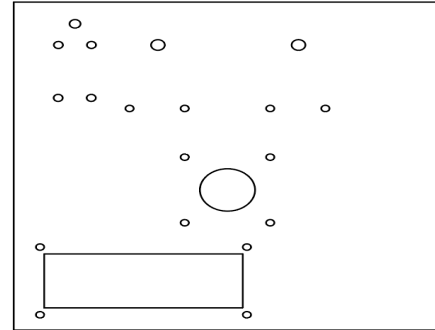


Figura 12. Boceto Panel Frontal

VI-B. Rodillos de compresión

Una de las piezas más importantes del prototipo de pinza son sus rodillos, estos son los encargados de ejercer la fuerza necesaria para desplazar el líquido anticoagulante del tubo piloto, hacia el interior de la bolsa de donación, además de ser una de las dos piezas que tienen un contacto directo con el tubular.

Teniendo en cuenta estas características, el proceso de diseño inició con la elaboración de un boceto, realizado en el software inventor (ver figura 13), el cual tiene en cuenta dos requerimientos muy importantes, el primero de ellos es evitar que el tubular pierda la trayectoria previamente establecida por el riel, y el segundo tiene que ver con no halar o maltratar al tubo piloto durante el proceso. El diseño que se propuso fue el de un rodillo, con una pequeña ranura o canal en el centro, la cual evita que el tubo piloto salga del camino previamente señalado, el material que se seleccionó para su fabricación fue el poliuretano, debido a que este es ligero, maleable y permite dar una forma circular, sin dejar bordes filosos que puedan cortar al tubular.

Cabe resaltar que al ser un par de rodillos, uno de ellos no debe tener la ranura, ya que si ambos la llevaran, el tubular simplemente pasaría por el canal que se forma entre ellos, y no se le ejercería ninguna fuerza.

VI-C. Riel guía

Esta pieza tiene como función principal, la de guiar al tubular estableciendo una trayectoria, para que los sensores fotoeléctricos e inductivo, puedan detectarlo activando las etapas previamente descritas.

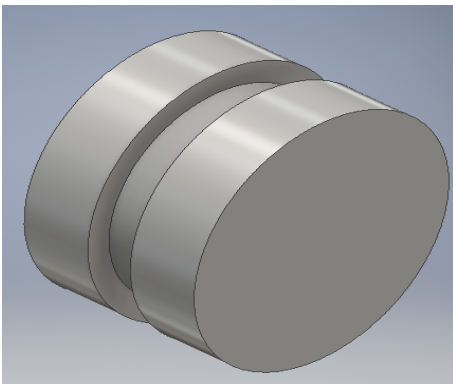


Figura 13. Boceto rodillo de compresión

De manera similar al proceso de diseño y fabricación de las piezas anteriores, se inicio con la elaboración de un boceto en 3D, haciendo uso del software inventor, Este boceto debía tener presente dos requerimientos, el primero es que el riel debe permitir el paso del tubular, ajustándose de manera precisa a las medidas del mismo, esto para evitar que el tubo piloto salga del margen de censado, la segunda característica a tener en cuenta, es el echo de que la profundidad del riel debe ser la suficiente como para que en ausencia del tubular, este no sea detectado por los sensores.

Basado en los requerimientos mencionados, el diseño que se propuso se muestra en la figura 14, en donde se puede observar la estructura general del riel y como esta fabricado para poder ser pegado al panel frontal, el material que se selecciono para su fabricación fue el plástico, ya que es ligero y proporciona poca resistencia al roce con el caucho del tubular. Uno de los factores que mas se debe tener presente para el ensamble de esta pieza, es el echo de que debe estar alineada con la unión de los dos rodillos, ya que de otro modo el tubular no ingresara, y por lo tanto no será exprimido.

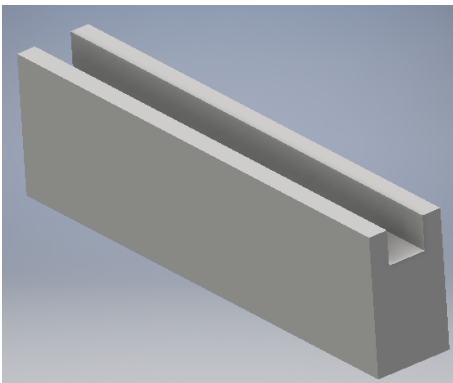


Figura 14. Boceto Riel guia

VI-D. Soporte superior

El prototipo de pinza *stripper* contempla la utilización de un par de rodillos, el primero de ellos se acopla al eje del motor de paso, el cual posteriormente girara. Sin embargo el segundo rodillo no tiene otro eje al cual fijarse, ya que el

prototipo solo contempla el uso de un motor, por este motivo fue necesario diseñar una pieza que pudiera ser ensamblada en el panel frontal, y que además fuera capaz de darle soporte y movimiento al segundo rodillo.

Como en los casos anteriores, se elaboro un boceto en 3D de la pieza utilizando el software inventor, el diseño básicamente tiene la forma de una **Z**, en donde la base tiene dos orificios para sujetarla mediante tornillos al panel frontal, en la parte superior se agrego otro orificio con un pequeño buje, en este fue acoplado un eje el cual gira libremente 360 grados, en este segundo eje es en donde se coloco al rodillo. En la figura (15), se puede apreciar el boceto de la pieza, cabe aclarar que el buje de la parte superior no es visible en la imagen.

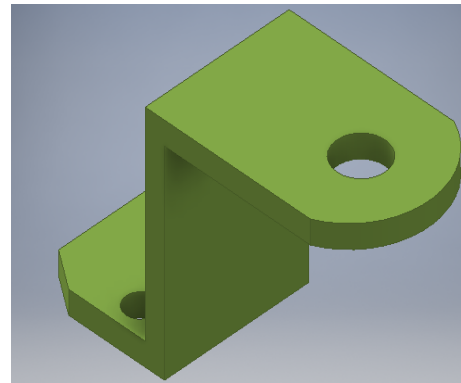


Figura 15. Boceto soporte Rodillo superior

VII. SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN Y ALARMA

El prototipo de pinza *stripper* al ser un producto dirigido al área de la salud, y que es constantemente manipulado por funcionarios, debe tener sistemas de información y alerta para evitar daños tanto en la integridad del mismo, como en la del producto que manipula. Sabiendo esto se decido utilizar un medio visual, y otro auditivo, con el fin de mantener al usuario informado de las etapas del proceso.

VII-A. Sistema de visualización

El sistema de visualización que si diseño para el prototipo de pinza *stripper*, esta basado en el manejo de una display de cristal liquido, mas conocido como **LCD**, en este se le muestra al usuario los diferentes mensajes informativos, sobre la etapa del proceso que se esta ejecutando, cuando se esta listo para iniciar, y cuando es seguro retirar el tubular. Además de esto, el display da un mensaje de bienvenida cada vez que el prototipo es conectado para ser utilizado.

De manera similar al control de los sensores y el actuador (Motor), el display es manejado por medio de la tarjeta arduino mega 2560, fue necesario incluir en el programa a la librería **liquidcrystal**, la cual se encarga de realizar toda la secuencia de pulsos previa para escribir y borrar. El circuito de conexión que se utilizo se puede apreciar en la figura (16), en donde se encuentra un potenciómetro con el cual se regula el contraste de la pantalla.

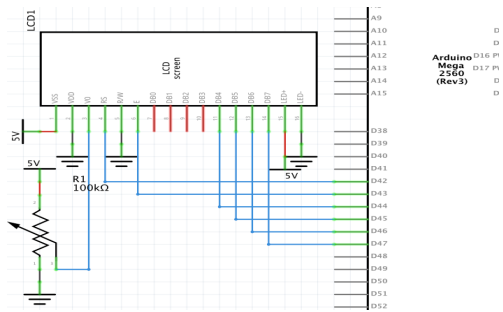


Figura 16. Plano de conexion LCD

Los mensajes que aparecen en el display, cambian cada vez que el prototipo ingresa a otra etapa, cuando el proceso termina se muestra la palabra **retirar**, lo cual hace referencia a que el tubular a terminado su recorrido.

VII-B. Alarma sonora

Cada vez que un ciclo completo del proceso se termina, es necesario que el usuario retire del sistema al tubular, ya sea para iniciar nuevamente, o para continuar con otra etapa en el procesamiento de la muestra. A pesar de que existe un indicador visual, la intención al desarrollar esta nueva herramienta es que el funcionario tenga mas autonomía, y no este presente en todas las etapas del proceso. Teniendo esto claro, es necesario avisar mediante un indicador sonoro, que el procedimiento a concluido satisfactoriamente y que es seguro retirar el tubo piloto.

El sistema de alarma sonora del prototipo fue diseñado en base a un buzzer o mini parlante, el cual emite un sonido cuando es energizado con un voltaje D.C, el circuito de control que se utilizo, funciona conectando un pin de la alarma a la tierra de la tarjeta arduino, y el pin restante a la terminal 14, esta puede ser configurada para funcionar en un estado *low* o un *hight*, cuando se configura en estado *hight*, por el circuito pasan 5v y la alarma emite un sonido, mientras que en caso contrario la alarma no suena.

De este modo basta con poner el terminal 14 en un estado *hight* durante 1.5 segundos, y luego volver a ponerlo en estado *low*, todo esto se hace al finalizar el código correspondiente a la tercera etapa del proceso.

VIII. RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Una vez terminado el ensamble de las diferentes piezas y componentes electrónicos del prototipo, el resultado obtenido se puede apreciar en la imagen (17), en donde se puede ver la trayectoria fijada por el riel guía, y como los sensores se encuentran en posición para detectar al tubular.

posteriormente se procede a evaluar el funcionamiento del mismo, empezando con la verificación de la velocidad de giro del motor en las tres etapas del proceso, en las tablas (2,3,4) se consignan los resultados obtenidos al medir la velocidad ,haciendo uso de un tacómetro manual digital.



(a) Vista izquierda (b) Vista derecha (c) Vista superior

Figura 17. Prototipo de pinza *stripper* terminado

Cuadro II
RESULTADOS VELOCIDAD MOTOR ETAPA 1.

MEDIDA	V-TEORICO (R.P.M)	V-EXPERIMENTAL(R.P.M)	% DE ERROR
1	65,0	64,0	1,53
2	65,0	65,2	-0,30
3	65,0	64,9	0,15
4	65,0	65,1	-0,15
5	65,0	65,0	0,00
6	65,0	64,6	0,61
7	65,0	65,3	-0,46
8	65,0	65,4	-0,61
9	65,0	65,2	-0,30
10	65,0	65,3	-0,46
Error Promedio total			0.001

Cuadro III
RESULTADOS VELOCIDAD MOTOR ETAPA 2.

MEDIDA	V-TEORICO (R.P.M)	V-EXPERIMENTAL(R.P.M)	% DE ERROR
1	115,0	115,3	-0,26
2	115,0	115,5	-0,43
3	115,0	115,2	-0,17
4	115,0	115,6	-0,52
5	115,0	115,3	-0,26
6	115,0	115,2	-0,17
7	115,0	115,8	-0,69
8	115,0	115,4	-0,34
9	115,0	115,6	-0,52
10	115,0	115,2	-0,17
Error Promedio total			-0,35

Cuadro IV
RESULTADOS VELOCIDAD MOTOR ETAPA 3.

MEDIDA	V-TEORICO (R.P.M)	V-EXPERIMENTAL(R.P.M)	% DE ERROR
1	115,0	115,9	-0,78
2	115,0	115,8	-0,69
3	115,0	115,5	-0,43
4	115,0	115,8	-0,69
5	115,0	115,7	-0,60
6	115,0	116,0	-0,86
7	115,0	116,1	-0,95
8	115,0	115,6	-0,52
9	115,0	115,6	-0,52
10	115,0	115,4	-0,34
Error Promedio total			-0,63

luego, se toma el tiempo que el prototipo gasta en realizar cada una de las etapas del proceso stripper, para lo cual se utilizo un tubular que tiene un largo de 86 cm , los resultados obtenidos se registran en el cuadro (5).

Cuadro V
RESULTADOS VELOCIDAD DE EJECUCIÓN.

MEDIDA	T-ETP1(s)	T-ETP2(s)	T-ETP3(s)	T-TOTAL(s)
1	3,5	12,4	13,0	28,9
2	3,2	12,6	13,4	29,2
3	3,3	12,8	13,3	29,4
4	3,7	12,5	13,1	29,3
5	3,9	12,7	13,5	30,1
6	3,6	12,6	13,1	29,3
7	3,3	12,8	13,6	29,7
8	3,1	13,0	13,6	29,7
9	3,2	12,8	13,5	29,5
10	3,8	13,2	13,3	30,3
Tiempo promedio total				29,54

IX. CONCLUSION

El prototipo de pinza stripper elaborado, cumple con los objetivos planteados al ser un diseño novedoso ,el cual reduce el tiempo de ejecución promedio del proceso, y cuyo costo de fabricación es sustancialmente bajo. Además sus características hacen que este sea fácilmente operable por cualquier usuario.

Las pruebas iniciales de funcionamiento han mostrado que todos los sistemas de detección, visualización y alarma funcionan adecuadamente; el tubular se desliza fácilmente por los rieles guía y es exprimido por los rodillo sin ser maltratado. El desarrollo del prototipo evidencio el amplio campo de acción que tiene la ingeniera electrónica en la industria farmacéutica y medica , además de la relación de esta con otras áreas tales como, el diseño industrial, y la ingeniería mecánica, por lo que es indispensable para el desarrollo de un producto el trabajo interdisciplinar y el estar en constante capacitación en estas áreas .

REFERENCIAS

- [1] <http://www.ergoibv.com/blog/movimientos>
- [2] <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000433.htm>
- [3] Pharmacur,[Citado el 30 de junio de 2016],Disponible en <http://pharmacur.com.mx>
- [4] HEALTH encyclopedia ,[Actualizado febreo de 2017],[citado el 22 de abril de 2017] disponible en <https://www.northshore.org/healthresources/encyclopedia>