



Responsabilidad Social con Pensamiento Positivo

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y
TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE
FOLÍCULOS PILOSOS PARA TRASPLANTES CAPILARES**

AUTOR:

ISRAEL DANIEL CHALÁ SÁNCHEZ

TUTOR METODOLÓGICO:

MG. MAURO FERNANDO BOLAGAY EGAS

TUTOR TÉCNICO:

MG. WILMER FABIÁN ALBARRACÍN GUAROCHICO

QUITO, ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE FOLÍCULOS PILOSOS PARA TRASPLANTES CAPILARES”, presentado por el Sr. **Israel Chalá**, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. F, marzo de 2020

TUTOR

.....

Mg. Mauro Bolagay

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del componente práctico certifico:

Que el trabajo de titulación “IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE FOLÍCULOS PILOSOS PARA TRASPLANTES CAPILARES”, presentado por el Sr. **Israel Chalá**, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. marzo de 2020

TUTOR

.....

Mg. Wilmer Albarracín.

AGRADECIMIENTO

Ser grato es una cualidad que los seres humanos debemos tener siempre. En este sentido dejo constancia de mi agradecimiento principalmente a Dios, a mis padres por haberme fraguado como el individuo que soy en el presente; muchos de mis logros se los debo a ellos, y a todos los que colaboraron en la ejecución de este trabajo, a los profesores quienes con su paciencia pudieron motivarme para la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios quién quien me guía fortalece y me ayuda a sobreponerme y no desmayar en los retos que la vida trae consigo. A mi familia, especialmente a mi madre, quienes han influido significativamente en lo que soy, gracias también a mis queridos compañeros.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| AGRADECIMIENTO | iv |
| DEDICATORIA | v |
| TABLA DE CONTENIDO | vi |
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| RESUMEN | x |
| ABSTRACT | xi |
| INTRODUCCIÓN | 10 |
| CAPÍTULO I | 14 |
| FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 14 |
| 1.1. Tratamiento capilar de la calvicie | 15 |
| 1.2. Desarrollo tecnológico y evolución del trasplante capilar | 15 |
| 1.3. Consideraciones técnicas para la realización de los trasplantes capilares..... | 17 |
| 1.4. Máquina parcialmente automatizada para la extracción de unidades foliculares | 21 |
| 1.5. Trasplante capilar robótico con ARTAS | 25 |
| 1.6. Micromotor Lombard como modelo para el desarrollo del prototipo planteado en la investigación | 27 |
| 1.7. Componentes de una máquina para trasplante capilar semiautomática | 29 |
| CAPÍTULO II | 34 |
| MARCO METODOLÓGICO | 34 |
| 2.1. Métodos | 34 |
| 2.2. Tipo de Investigación | 35 |
| 2.3. Diseño de la Investigación | 35 |
| CAPÍTULO III | 38 |
| PROPUESTA | 38 |

| | |
|--|----|
| 3.1. Procedimiento seguido para el diseño del equipo de extracción folicular | 38 |
| 3.2. Diseño del prototipo y piezas constituyentes..... | 40 |
| 3.3. Descripción de los componentes del circuito | 40 |
| CAPÍTULO IV | 59 |
| IMPLEMENTACIÓN..... | 59 |
| 4.1. Ensamble del <i>Case</i> | 59 |
| 4.2. Ensamble de las piezas..... | 64 |
| 4.3. Funcionamiento del equipo en general | 64 |
| 4.4. Tamaño de la muestra..... | 66 |
| 4.5. Prueba de validación de resultados en gel balístico en el centro de trasplante capilar Scatter | 70 |
| CONCLUSIONES | 73 |
| RECOMENDACIONES | 75 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 76 |
| ANEXOS..... | 78 |
| Carta de validación de resultados..... | 78 |
| Especificaciones Técnicas..... | 79 |
| Manual de usuario..... | 82 |
| Screenshots muestra población excel..... | 90 |
| Informe anti plagio Plagscan..... | 91 |
| Declaración y autorización..... | 92 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. 1. Equipos involucrados en la técnica FUE..... | 19 |
| Figura 1. 2. El sacabocado con un cilindro cortante de 0.7-0.9mm de diámetro..... | 20 |
| Figura 1. 3. Corte de tira con bisturí | 21 |
| Figura 1. 4. Tallado de los injertos | 22 |
| Figura 1. 5. Proceso de extracción de injerto capilar | 23 |
| Figura 1. 6. Dispositivo FUE automatizado | 25 |
| Figura 1. 7. Dispositivo de filtro..... | 25 |
| Figura 1. 8. Botella de solución salina | 26 |
| Figura 1. 9. Injertos recolectados con un | 26 |
| Figura 1. 10. Safer es un equipo que extrae unidades foliculares mediante succión..... | 27 |
| Figura 1. 11. Robot ARTAS para trasplante de pelo | 29 |
| Figura 1. 12. Micromotor lombar para trasplante capilar..... | 30 |
| Figura 1. 13. Bomba de vacío | 31 |
| Figura 1. 14. Bomba de aletas rotativas serie EM de PVR | 31 |
| Figura 1. 15. Bomba de diafragma Thomas 8221 Series | 31 |
| Figura 1. 16. Bomba de vacío en espiral, sin lubricante tipo scroll | 32 |
| Figura 1. 17. Bomba root serie HV de Hanbell | 32 |
| Figura 1. 18. Bomba de vacío turbomolecular | 33 |
| Figura 1. 19. Equipo de funcionamiento..... | 33 |
| Figura 3. 1. Flujograma del proyecto de la máquina extractora de folículos capilares..... | 41 |
| Figura 3. 2. Componentes del circuito de la máquina de extracción folicular | 42 |
| Figura 3.3 Diagrama de pines de arduino NANO | 43 |
| Figura 3. 4. LM2596 Circuito reductor de voltaje DC-DC de la máquina de extracción folicular | 43 |
| Figura 3.5. Datasheet Mosfet IRFZ24N..... | 44 |
| Figura 3.6 Datasheet regulador de voltaje 7808. | 45 |
| Figura 3. 7. Datasheet capacitor 22Uf, 50 V. | 45 |
| Figura 3. 8. Diodo 1N4007..... | 46 |
| Figura 3. 9. Datasheet pantalla LCD 16 x 9 | 47 |
| Figura 3. 10. Imagen fibra de vidrio | 48 |

| | |
|---|----|
| Figura 3. 11. Vista frontal máquina extractora de folículos | 48 |
| Figura 3. 12. Vista posterior máquina extractora de folículos diseñada en Solid Works | 48 |
| Figura 3. 13. Distribución de Pines - Placa Arduino Nano- ATmega328. | 49 |
| Figura 3. 14. Tabla de selección de condensador de salida y condensador de avance | 50 |
| Figura 3. 15. Fuente de poder (DRC-24V 100W 1A)..... | 52 |
| Figura 3. 16. Circuito MOSFET para turbina | 53 |
| Figura 3. 17. Fuente de 5 voltios con un interruptor | 54 |
| Figura 3. 18. Cálculo de V_{DD} , V_{DS} , I_D , P_{mos} | 55 |
| Figura 3. 19. Condición de encendido Mosfet | 55 |
| Figura 3. 20. Datos de referencia MOSFET IRFZ24N..... | 55 |
| Figura 3. 21. Curva entrada y salida de corte y saturación de un MOSFET | 56 |
| Figura 3. 22. Conexión entre pantalla LCD y arduino NANO | 57 |
| Figura 3. 23. Diagrama de unión entre fuente 24V DC y reductor de voltaje LM2596. | 58 |
| Figura 3. 24. Circuito MOSFET..... | 59 |
| Figura 3. 25. Interruptor tipo pedal..... | 59 |
| Figura 3. 26. Plano esquemático generado en Proteus..... | 60 |
| Figura 3. 27. Placa PCB lista a ser impresa | 61 |
| Figura 4. 1. Base del case (modelada en acero)..... | 61 |
| Figura 4. 2. Case primario | 61 |
| Figura 4. 3. Cubierta del Case | 61 |
| Figura 4. 4. Tapas laterales del case | 62 |
| Figura 4. 5. Tornillo del case..... | 62 |
| Figura 4. 6. Vista posterior del case..... | 62 |
| Figura 4. 7. Vista frontal del case | 63 |
| Figura 4. 8. Circuito esquemático para el funcionamiento de la turbina | 63 |
| Figura 4. 9 Circuito a imprimir realizado en Proteus..... | 62 |
| Figura 4. 10. Case de la máquina de extracción folicular, vista frontal y posterior | 63 |
| Figura 4. 11. Bomba de vacío marca Thomas usada en la máquina | 64 |
| Figura 4. 12. Máquina de extracción capilar armada..... | 65 |
| Figura 4. 13. Intervalo de confianza | 66 |
| Figura 4. 14. Gráfico variación aleatoria | 69 |
| Figura 4. 15. Preparación de la especialista para el uso de la máquina de extracción | 70 |
| Figura 4. 16. Uso del micro bisturí para la extracción del folículo en el gel balístico | 70 |
| Figura 4. 17 Detalle de la extracción del folículo en el gel balístico..... | 72 |

RESUMEN

La investigación tuvo por finalidad implementar una máquina para la extracción de folículos pilosos para trasplante capilar con el uso y ensamble de un motor generador de vacío, así como un bisturí circular acoplado a una turbina. El tipo de investigación es un proyecto factible, iniciando con el diagnóstico del problema, la elaboración de una máquina en la cual se llevó a cabo el diseño y esquema del circuito, con el uso del programa Proteus. Se llevó a cabo el ensamblaje del circuito y sus componentes, así como, la instalación de una bomba de vacío de tipo diafragma, conectada a una manguera para la extracción del folículo lo que permitió el funcionamiento de la turbina. Una vez construida la máquina se hizo la prueba de funcionamiento donde un especialista validó el adecuado funcionamiento. La propuesta atiende la necesidad de contar con un equipo de extracción folicular que cumple con los parámetros que requiere la técnica de extracción capilar FUE y al mismo tiempo reduce el costo del equipo para los especialistas del área, es económicamente accesible contando con la experticia técnica para el diseño y puesta en funcionamiento, así como, la disponibilidad de los materiales en el mercado nacional.

PALABRAS CLAVES: Arduino, extracción folicular, gel balístico, implante folicular, máquina de vacío, prototipo.

ABSTRACT

The purpose of the research was to implement a machine for the extraction of hair follicles for hair transplantation with the use and assembly of a vacuum generating motor, as well as a circular scalpel coupled to a turbine. The type of investigation is a feasible project, beginning with the diagnosis of the problem, the development of a machine in which the design and scheme of the circuit was carried out, with the use of the Proteus program. The assembly of the circuit and its components was carried out, as well as the installation of a diaphragm-type vacuum pump, connected to a hose for the extraction of the follicle, which allowed the turbine to operate. Once the machine was built, the function test was performed where a specialist validated the proper operation. The proposal addresses the need to have a follicular extraction equipment that meets the parameters required by the FUE hair extraction technique and at the same time reduces the cost of the equipment for specialists in the area, it is economically accessible with the technical expertise to the design and commissioning, also the availability of materials in the current market.

KEYWORDS: arduino, follicular extraction, ballistic gel, follicular implant, vacuum machine, prototype

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de implantes capilar son un recurso dentro de la medicina estética que goza de popularidad en función de los beneficios que reporta a quienes se someten a este tipo de tratamiento. La producción de máquinas de última generación se encuentra en manos de grandes empresas como Nanorobotics, o Impladerm, siendo una de las últimas innovaciones el robot ARTAS. Si bien estas máquinas ofrecen lo último en tecnología también representan una inversión importante de dinero oscilando entre 12000 USD y 25000USD y en el caso de ARTAS la inversión oscila por el orden de 432000 USD.

Estas máquinas de extracción folicular ofrecen un proceso automatizado tanto de extracción como de reimplantación de unidades foliculares a través de un sistema de succión, es decir la extracción de cada unidad folicular se realiza mediante un micropunch circular de menos de 1 mm, lo que garantiza la ausencia de cicatrices en el paciente, logrando recolectar miles de unidades foliculares en una sola sesión y de forma consistente.

Ahora bien, el alto costo de estas máquinas limita que los profesionales puedan adquirirlas y en consecuencia beneficiar a pacientes que requieran este tipo de tratamiento, es por ello que el presente proyecto de investigación plantea el diseño y construcción de una máquina de extracción folicular que cumpla con los principios de estas máquinas de alta tecnología y que sea una alternativa para realizar el tratamiento de extracción e implantación folicular cumpliendo con los estándares de calidad del procedimiento.

Para ello el prototipo propuesto emplea un sistema de succión mediante el cual es posible extraer el folículo y conservarlo en una solución salina, logrando preservarlo para su posterior implantación, habiendo probado el funcionamiento, las máquinas de extracción folicular se convierte en un proyecto factible de ser ampliado, ofreciendo una alternativa tecnológica en Ecuador para la rama de profesionales que ofertan este servicio.

En función de lo anterior se ha planteado como objetivos en el presente proyecto los siguientes:

Objetivo General

Implementar una máquina extractora de folículos pilosos, por medio del uso y ensamble de un motor generador de vacío y motores rotatorios acoplados en un bisturí circular, para la extracción del folículo.

Objetivos específicos

- Diseñar el modelo electrónico y mecánico, así como el ensamblaje de dichos componentes para el uso y ejercicio de dicha máquina.
- Implementar los componentes electrónicos y mecánicos para el posterior uso y funcionamiento de dicha máquina.
- Ensamblar los componentes electrónicos y mecánicos.
- Realizar las pruebas de validación de resultados en gel balístico, llevadas a cabo por un médico, en el centro de trasplante capilar Scatter.

Hipótesis o ideas a defender en el proceso investigativo.

Con este proyecto se espera obtener una máquina extractora de folículos a un precio más económico al existente.

Alcance.

Con la ejecución de este proyecto se obtendrá:

- Una máquina extractora de folículos que automatizará la extracción de unidades foliculares a través de un sistema succión y extracción de las mismas, mediante un micropunch circular de menos de 1 mm, lo que garantizará la ausencia de cicatrices en el paciente empleando una plataforma diseñada para simplificar y optimizar el proceso completo de trasplante capilar garantizando la total preservación del folículo durante el proceso, lo que se quiere conseguir con éste proyecto es:
- Una máquina extractora de folículos a un precio más accesible.

- Facilitar la extracción, recolección y limpieza de cada uno de los folículos.
- Extraer cada unidad folicular mediante un micropunch circular de menos de 1mm.
- Desarrollar un sistema de succión utilizado en la extracción, tal que permita la mínima incisión el paciente, a la vez que recolecta y almacena los folículos.
- Simplificar el equipo médico requerido para el trasplante, facilitando así las tareas de coordinación del equipo y bajando los costos de cada cirugía.

Se incluirán:

- Una simulación de dicha cirugía en gel balístico.
- Manual de usuario.
- Manual técnico.
- Diseños de diagramas electrónicos y mecánicos

El documento presentado a continuación contiene los siguientes capítulos:

Capítulo I, contiene la fundamentación teórica relacionado con las técnicas de tratamiento capilar y el alcance del desarrollo tecnológico a través de la historia en el uso de la técnica, los principales procedimientos para el implante capilar y el uso de máquinas de última generación para la aplicación del tratamiento.

Capítulo II, desarrolla el marco metodológico describiendo los métodos de investigación empleados en el desarrollo del proyecto, el tipo de investigación, así como el diseño de la investigación para la definición del prototipo de máquina de implante capilar, llegando al diseño de la propuesta y la respectiva ejecución para la construcción del prototipo propuesto.

Capítulo III, es la propuesta con las especificaciones de diseño y ensamblaje de la máquina de extracción capilar, en esta se describe la secuencia desde el procedimiento seguido para el diseño de circuitos, placa y el posterior ensamblaje de componentes, incluyendo la prueba de la máquina en un centro de estética especializado en implante capilar.

Capítulo IV, esta parte corresponde a la implementación técnica, en esta se describe paso a paso como articular los componentes para crear un todo, es decir muestra la forma en la que los diferentes componentes se ensamblan, para dar forma al producto ya ejecutado.

Finalmente, se muestran las recomendaciones y conclusiones

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El tratamiento capilar ha avanzado hasta el punto de contar con técnicas altamente innovadoras como la que corresponde a la extracción de unidades foliculares por sus siglas EUF, siendo una de las principales fortalezas de la técnica que tiene una mínima invasión en el trasplante de folículos. La técnica se realiza mediante una extracción directa del área destinada a la extracción, en esta se emplea como instrumento un bisturí con medidas que oscilan entre 0,7mm-1,00mm. Esta técnica es una de las más empleadas en función de que se genera una escasa hipopigmentación en el lugar donde se extrae el folículo, y luego de la operación el paciente tiene un menor dolor (Salas, Baeman, & Guinzburg, 2011).

Actualmente diferentes compañías han desarrollado equipos completamente automatizados con un nivel mínimo de invasión (IMEX, 2020). Sin embargo, una de las limitaciones de su adquisición es el alto precio de cada unidad. Por ello hacer uso de la tecnología disponible para el diseño de prototipos de máquina que cumplan las mismas funciones y que sean probadas asegurando un óptimo funcionamiento permitirá a los especialistas médicos contar con este tipo de equipos.

En la presente investigación se ha planteado el desarrollo de una máquina extractora de folículos pilosos, por medio del uso y ensamble de motores generadores de vacío y motores rotatorios acoplados en un bisturí circular, para la extracción del folículo, de allí que será desarrollado a continuación aspectos científico tecnológicos sobre los cuales se sustenta la elaboración del prototipo propuesto.

1.1. Tratamiento capilar de la calvicie

En la actualidad el interés del género masculino por resolver los problemas de calvicie los ha llevado a usar tratamientos quirúrgicos para tratar este importante aspecto estético, en función de esta creciente demanda la industria ha invertido en el desarrollo de tratamientos que involucran el diseño de máquinas y equipos optimizando los tratamientos en función de su efectividad (Ortega, 2015).

Toledo citado en Ortega (2015), indica que a la par del desarrollo tecnológico se han diseñado diferentes esquemas para el tratamiento desde el mini injerto de cuero cabelludo, reducción quirúrgica y hasta lograr en la actualidad micro trasplante de unidades foliculares.

Los esquemas de tratamiento de la calvicie han evolucionado, partiendo desde el “punch” conocido como mini injerto, llegando a los denominados colgajos de cuero cabelludo, posteriormente las conocidas reducciones quirúrgicas de zonas alopecicas y por último el micro trasplante de unidades foliculares a través dos técnicas que son usadas por muchos especialistas: la Extracción de Unidades Foliculares (FUE) y la técnica de la tira de cuero cabelludo (Ortega, 2015).

1.2. Desarrollo tecnológico y evolución del trasplante capilar

El desarrollo de la técnica ha ido de la mano con el desarrollo tecnológico así se evidencia en la siguiente cronología contenida en la Tabla 1.

Tabla 1. 1. Evolución tecnológica de la técnica de trasplante capilar

| | |
|-------------|---|
| 1968 | Norman Orentreich, utiliza los “punches” de 4 mm o injertos grandes con hasta 30 bulbos pilosos y establece el concepto teórico de la “dominancia del área donadora”, por la cual los injertos trasplantados desde la zona dadora, se comportan como en su lecho original, siendo resistentes a la acción alopecica hormonal. |
|-------------|---|

Fuente: (Ortega, 2015)

Tabla 1. 1. Evolución tecnológica de la técnica de trasplante capilar

| | |
|-------------------------|---|
| Década 1970-1980 | Los injertos en punches circulares o “punch graft” de Orentreich, responsables del aspecto de “pelo de muñeca”, aun así, el trasplante capilar se popularizó. |
| 1981 | Nordström, describe la técnica de miniinjertos con 1 a 3 folículos para la implantación de la línea frontal. |
| 1990 | Limmer, considerado el inventor de la técnica de la tira de cuero cabelludo, utiliza la disección bajo aumento con microscopio para dividir la tira en unidades foliculares (UF) con microinjertos con 1 pelo para el área frontal y miniinjertos con 2,3 y 4 pelos para poblar las otras áreas. Esto permitió trasplantar hasta 3.000 injertos por sesión, consiguiendo naturalidad en el área donadora. |
| 2003 | Berstein crea la técnica de la Extracción de Unidades Foliculares o FUE (por sus siglas en inglés), utilizando sacabocados o punches de 0,7 y 0,9 mm de diámetro. |
| Actualidad | La depuración de las técnicas quirúrgicas, y el uso de instrumentos muy finos o el láser, permite que el trasplante capilar obtenga resultados muy naturales y sea altamente satisfactorio para los pacientes. Trasplante con la técnica FUE totalmente robotizado “ARTAS” |

Fuente: (Ortega, 2015)

Como se aprecia la tecnología ha permitido transitar del uso de equipos de enjertación capilar manuales hasta llegar a los equipos robotizados como el ARTAS.

1.3. Consideraciones técnicas para la realización de los trasplantes capilares

1.3.1. Extracción de unidades foliculares mediante la técnica FUE

La técnica consiste en la extracción e implantación de folículos haciendo uso de pequeños sacabocados bien sean de funcionamiento mecánicos o de funcionamiento eléctrico, estos permiten que se pueda trabajar individualmente el folículo (Rassman, 2002). Se describe a continuación en la Figura 1.1 los pasos donde se involucran los equipos tecnológicos desarrollados para la técnica:

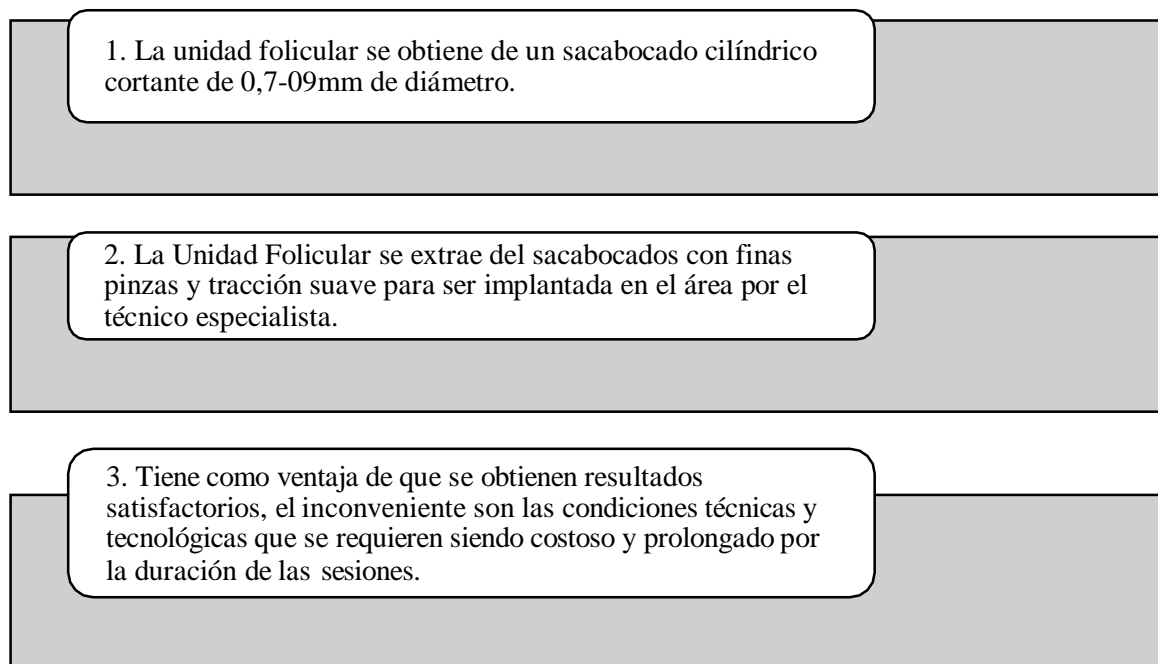


Figura 1. 1. Equipos involucrados en la técnica FUE

Fuente: Rassman, 2002

En la Figura 1.2 puede observarse el proceso extracción del folículo por medio de un micropunch, mismo realizado con un bisturí circular.

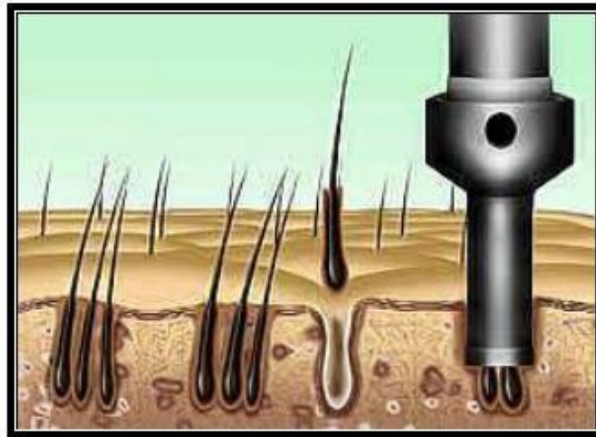


Figura 1. 2. El sacabocado con un cilindro cortante de 0.7-0.9mm de diámetro
Fuente: (López, 2014)

1.3.2. “Tira” de cuero cabelludo

Con esta técnica son elaborados mini injertos y micro injertos con uno, dos, tres y cuatro folículos, a continuación, en la Tabla 1.2 se describen los pasos de la técnica, equipos y materiales desarrollados mediante procesos tecnológicos:

Tabla 1. 2. Procedimiento de Tira de cuero cabelludo

| Procedimiento de Tira de cuero cabelludo | |
|---|---|
| Disección de la tira de cuero | Se realiza la disección de la tira de cuero cabelludo del área donante previamente marcada en la región occipital, con bisturí multilaminar y hoja N° 22 |
| Realización de hemostasia | La hemostasia es realizada en los vasos de la gálea aplicando presión con pinzas. Los vasos dérmicos no deben ser electro coagulados, para evitar la pérdida de folículos por calor |
| Sutura de la herida | La sutura de la herida en el área donadora se realiza de forma continua con material reabsorbible con poliglicapone (monocryl 3-0). |
| Uso de material | Es una técnica que no alarga la cirugía, ya que requiere el uso de poco material y tiempo y su ejecución toma alrededor de 5 minutos |
| Tallado de los injertos | El tallado de los injertos se consigue cortando la tira en rebanadas de 2 mm, con hoja de afeitar estéril, montada sobre una placa de acrílico con iluminación y bajo visión con magnificación 2 X o 3 X, similar al corte de rebanadas de pan elaborando los injertos que contienen de uno a cuatro cabellos |

Fuente: López,2014

En la Figura 1.3 se muestra el detalle de los implementos involucrados en la extracción de la tira capilar:



Figura 1. 3. Corte de tira con bisturí
Fuente: (Uebel, Escobar, & Silveira, 2013)

En la Figura 1.4 se muestra el corte en pedazos más pequeños de la tira de cuero cabelludo extraída para su implantación.



Figura 1. 4. Tallado de los injertos
Fuente (Uebel, Escobar, & Silveira, 2013)

1.4. Máquina parcialmente automatizada para la extracción de unidades foliculares

Las máquinas parcialmente automatizadas se basan en el control manual de un operador. El cual selecciona y extrae los injertos de unidades foliculares, implantándola en unidades receptoras mediante un sistema de presión de aire/aspiración.

A su vez cuentan con un punzón que rota y este afilado conectado a una unidad de succión, al diseccionar la parte superior del injerto, mediante la succión se extrae el injerto que separada del tejido que resta, a continuación, en la Figura 1.5 se muestran los pasos para completar dicho proceso.

Los siguientes pasos se siguen para completar el proceso:

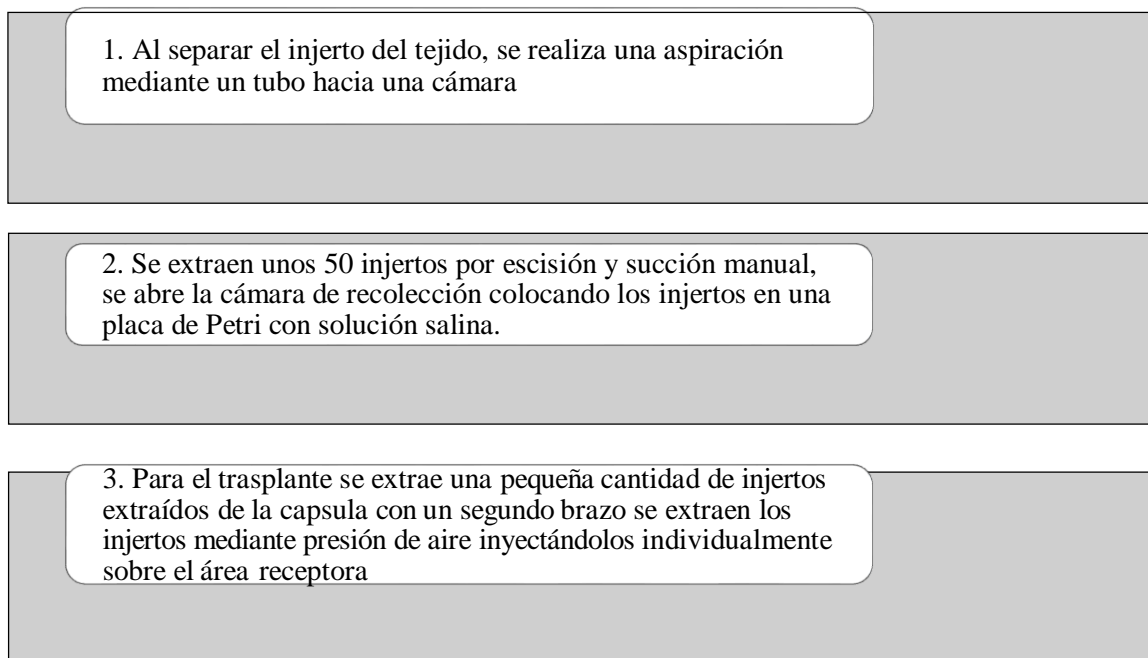


Figura 1. 5. Proceso de extracción de injerto capilar
Fuente: Berstein Medical, 2020

Este tipo de máquina tiene ciertas limitaciones que se describen en la Tabla 1.3, mismas que deben ser observadas:

Tabla 1. 3. Limitaciones de las máquinas de extracción capilar parcialmente automatizadas

| Principales limitaciones de las máquinas de extracción capilar parcialmente automatizadas | |
|---|--|
| Susceptibilidad del taladro de punción dérmica manual | El taladro de punción dérmica manual que se activa por medio de un pedal de pie puede estar sujeto a al operador y la variabilidad de este incidiendo en la producir altas tasas de daño capilar |
| Daño de injertos por manipulación | Los injertos pueden estar sujetos a daños por manipulación y secado que pueden comprometer la supervivencia |
| Succión al vacío | Los injertos de unidades foliculares los expone a la posibilidad de desecación y puede dañar la supervivencia |

Fuente: Berstein Medical, 2020

El prototipo propuesto en la investigación se basa en el desarrollo tecnológico de la máquina parcialmente automatizada, por lo tanto, serán descritos a continuación los elementos y principios implícitos en el desarrollo de la misma.

Desde el punto de vista de la investigación científica se tiene que se han desarrollado piezas manuales de extracción capilar que funcionan con motores y los fundamentos de succión, de esta forma se combina la extracción e implantación, el Neograft aprobado por la FDA en 2009 posibilita que en un usuario experimentado pueda extraer hasta dos mil injertos en una sola sesión (Rashid & Morgan, 2012).

Componentes de la máquina de extracción folicular semi-automatizada

A continuación, en la Figura 1.6 se describen los principales componentes de la máquina de extracción de folicular:



Figura 1. 6. Dispositivo FUE automatizado
Fuente: (Rashid & Morgan, 2012)

El dispositivo es portátil, con filtro y accesorio de succión de vacío con filtro alojado en el recipiente de captura de plástico en forma de cilindro, como puede verse en la Figura 1.7.

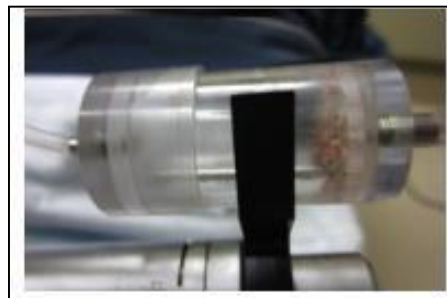


Figura 1. 7. Dispositivo de filtro
Fuente: (Rashid & Morgan, 2012)

Este dispositivo de filtro sirve para capturar y almacenar los injertos durante el procedimiento. En este ocurre una corriente de aire constante desde el vacío de succión que genera la desecación del injerto. Los injertos se acumulan entre sí en el filtro comprometiendo el gradiente de presión utilizado para capturar los injertos debido a la succión de vacío continua.

Para controlar las limitaciones de supervivencia del injerto se ha establecido el siguiente procedimiento según el trabajo realizado por Rashid & Morgan (2012):

Quitar el filtro de captura en el dispositivo de recolección permite que los injertos continúan de forma segura a través de la botella de recolección de fluido cuya imagen puede verse en la Figura 1.8



Figura 1. 8. Botella de solución salina
Fuente: (Rashid & Morgan, 2012)

Así los injertos, mismos que se observan en la Figura 1.9, se colocan en un ambiente que los mantiene hidratados evitando la desecación al retirar el filtro de captura los pelos permanecen hidratados



Figura 1. 9. Injertos recolectados
con un dispositivo sin filtro
Fuente: (Rashid & Morgan, 2012)

Este procedimiento evita la desecación producto de la succión del vacío ya que pasan directamente a la botella de recolección de solución salina sin acumularse en el filtro que es secado al vacío.

Dentro de los equipos desarrollados para la automatización de la extracción y en simultáneo la implantación de folículos lo es la denominada “Safer”, siendo sus principales características la extracción, almacenamiento e implantes de folículos. En la Figura 1.10 se presenta la imagen de este equipo de última generación.



Figura 1. 10. Safer es un equipo que extrae unidades foliculares mediante succión
Fuente: Impladerm, 2020

1.5. Trasplante capilar robótico con ARTAS

La cirugía robótica de trasplante de cabello ha sido un avance significativo en la tecnología del procedimiento de extracción de unidades foliculares denominado por sus siglas FUE (*follicular unit extraction*).

El sistema robótico ARTAS automatiza dos pasos fundamentales en un trasplante de cabello empleando la técnica *follicular unit extraction*; haciendo la recolección de injerto y la disposición en el lugar de recepción. La automatización de estos dos pasos permite a los cirujanos realizar FUE con alto nivel de precisión lo que garantiza la máxima preservación de los folículos, la principal ventaja de esta tecnología es que no deja cicatriz (Berstein Medical, 2020).

El equipo tiene implantado un sistema de guía óptico tridimensional y el mecanismo de doble punzón, esto contribuye a ubicar y posteriormente extraer las unidades foliculares siguiendo las especificaciones que son pautadas por el médico. Permite además la creación de sitios receptores, colocando en estos injertos de unidades foliculares, siguiendo un plan estético diseñado por el médico y que es programado en el robot (Berstein Medical, 2020). El proceso seguido por el equipo se encuentra descrito en la Tabla 1.4.

Tabla 1. 4. Funcionamiento del equipo ARTAS en la extracción e implantación folicular

| Funcionamiento de ARTAS | |
|--------------------------------|---|
| Paso 1 | Administración de anestesia local en el área a cosechar |
| Paso 2 | El especialista usa el tensor y lo aplica en la parte posterior del cuero cabelludo |
| Paso 3 | El brazo robótico se coloca en el área de donación |
| Paso 4 | El equipo direcciona la herramienta para efectuar la perforación en el cuero cabelludo, efectúa un escáner y se extrae el folículo |
| Paso 5 | Cuando el robot apunta a la unidad folicular, un mecanismo de doble punción se despliega el cual contiene una herramienta afilada en el lado interno marca la piel, mientras que la herramienta externa roma externa disecciona el injerto del tejido que lo bordea |
| Paso 6 | El proceso se repite, el sistema óptico se desplaza a la siguiente unidad, alinea el brazo con los folículos |

Fuente: Berstein Medical, 2020

La Figura 1.11 presenta la imagen del robot ARTAS



Figura 1. 11. Robot ARTAS para trasplante de pelo
Fuente: Sánchez, 2014

1.6. Micromotor Lombar como modelo para el desarrollo del prototipo planteado en la investigación

Si bien existen los equipos de alta tecnología los cuales ofrecen innumerables ventajas en el desarrollo de la técnica de extracción capilar, también tiene la desventaja de que son altamente costosos en ese sentido en la investigación planteada se desarrollará un prototipo de equipo para trasplante capilar de un costo accesible y que ofrezca en resultado óptimo.

El proyecto propuesto inicia con la revisión de información sobre el micromotor desarrollado por la empresa G.E Lombardozzi para trasplante capilar, a esta máquina fue integrado un panel mediante el cual se realiza el encendido de la máquina, se controla la velocidad, se regula la marcha y también la contramarcha. Tiene además una pieza manual y un adaptador de diámetros que van de 0.7 MM-1.1MM (Estetica Medica Info, 2014).

En cuanto a las características del equipo se tiene que la velocidad puede oscilar entre cero-45mil rpm, tiene la función de manejo de pedal o automática, cuenta con una potencia de 110w, se adapta a voltaje de 110-120 v. Detalle del equipo es descrito en la Figura 1.12.



**Figura 1. 12. Micromotor lombar para trasplante capilar
Fuente: G.E. Lombardozzi, 2020**

1.7. Componentes de una máquina para trasplante capilar semiautomática

El prototipo de máquina propuesta en la investigación está integrado por un conjunto de piezas mediante las cuales se logra el proceso de extracción de la unidad folicular las cuales son: bomba de vacío, turbina con microprocesador Arduino NANO de 5 voltios, regulador o fuente de poder. Por ello se describe a continuación cada uno de estos componentes desde el punto de vista de su funcionamiento:

1.7.1. Bomba de vacío



El principio básico del funcionamiento de la bomba de vacío es extraer humedad o gas que se encuentran en un espacio confinado. Se caracteriza por la velocidad de bombeo y el gas que es evacuado en función del tiempo. Tiene una presión mínima de entrada, así como la presión previa. Tienen una amplia aplicación tanto en la industria y también en espacios para trabajos de investigación como los laboratorios (Universidad del País Vasco, 2015). La Figura 1.13 presenta este equipo.



Figura 1. 13. Bomba de vacío
Fuente: Rev Cero Grados Celsius, 2014



Se han desarrollado varios tipos de bombas que tienen principio básico de vacío, se describen las más importantes en la Tabla 1.5

Tabla 1. 5. Clasificación de las bombas de vacío según su funcionamiento

| Bombas primarias | |
|---|---|
| <p>De hélices rotativas con deslizamiento positivo y lubricadas.</p> <p>En estas bombas el gas ingresa por el puerto de entrada, un dispositivo comprime el gas y lo transfiere a la válvula de escape, u resorte conectado permite hacer la descarga del gas si se ha excedido la presión atmosférica. El aceite sella y refrigera las paletas. La presión que se alcanza se determina por el número de etapas.</p> |  <p>Figura 1. 14. Bomba de aletas rotativas serie EM de PVR Fuente: Teratorr Technologies,2019</p> |
| <p>Bombas de vacío de diafragmas con deslizamiento efectivo y sin lubricante</p> <p>El diseño es compacto y se necesita poco mantenimiento, por ende, los diafragmas suelen durar por encima de diez mil quinientas horas de trabajo. Se emplean principalmente en tareas donde se amerita un gran caudal.</p> |  <p>Figura 1. 15. Bomba de diafragma Thomas 8221 Series Fuente: Teratorr Technologies,2019</p> |

Fuente: Adaptado por Chalá de Teratorr Technologies (2020)

Tabla 1. 5. Clasificación de las bombas de vacío según su funcionamiento

| | |
|---|---|
| <p>Bombas de vacíos scroll con deslizamiento efectivo y libre de lubricante</p> <p>El funcionamiento consiste en una pareja de espirales, donde una se mueve de forma excéntrica con respecto a su opuesto, atrapa y comprime el aire o gas en un volumen reducido, logrando alcanzar un volumen minúsculo y una presión muy alta en el eje de las hélices donde se ubica la salida. Un timbre de pico de plástico realiza un cerrado central en la mitad de los cilindros sin el uso de lubricante.</p> |  <p>Figura 1. 16. Bomba de vacío en espiral, sin lubricante tipo scroll Fuente: Direct Industry,2020</p> |
| <p>Bombas de vacío de refuerzo: bombas de tipo raíces (de deslizamiento efectivo, libre de lubricante)</p> <p>Son usadas como refuerzo del vacío teniendo la capacidad de separar grandes cantidades de gases. Contiene dos lóbulos ensamblados que no se tocan los cuales giran en sentido contrario siendo transferido el gas en una dirección. Amplían la utilidad de la bomba principal incrementando la rapidez de bombeo en una proporción de 7 a 1.</p> |  <p>Figura 1. 17. Bomba root serie HV de Hanbell Fuente: Teratorr Technologies,2019</p> |

Fuente: Adaptado por Chalá de Teratorr Technologies (2020)

Tabla 1. 5. Clasificación de las bombas de vacío según su funcionamiento

Bombas de vacío turbo moleculares con traspaso cinético y sin uso de lubricante.

Transfieren energía cambiante a las moléculas de gas usando álabes que giran a gran rapidez entre 200m/s a 350 m/s



Figura 1. 18. Bomba de vacío turbomolecular

Fuente: Direc Industry,2020

Bombas de tipo criogénico de captura y libre de lubricante

Atrapa y almacena gases en lugar de transferirlo. Enfría las emisiones atmosféricas a temperaturas muy bajas por medio del nitrógeno líquido lo cual congela o atrapa el gas en una superficie muy fría a T° de 263°C. Los gases que son recolectados tienen que ser eliminados frecuentemente de la bomba

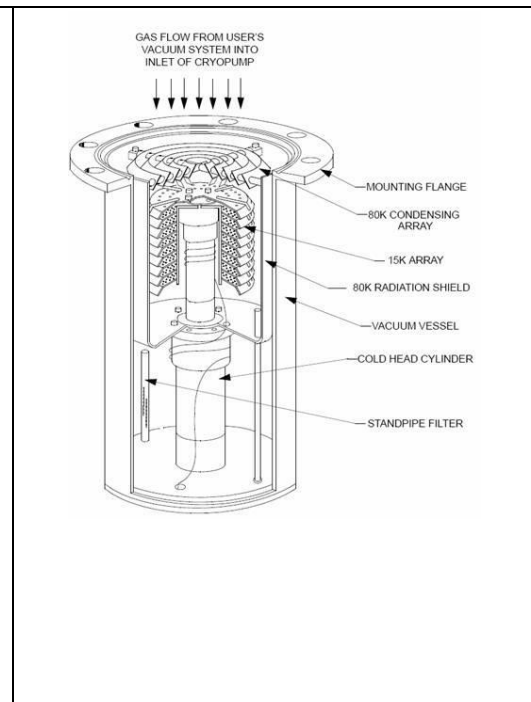


Figura 1. 19. Equipo de funcionamiento


Fuente: Teratorr Technologies,2019

Fuente: Adaptado por Chala de Teratorr Technologies (2020)

1.7.2. Microprocesador Arduino

Se basa en una plataforma que usa una placa electrónica de hardware libre, en esta placa es incorporado un microcontrolador que al mismo tiempo es reprogramable, además de un conjunto de pines hembras lo que permite establecer conexiones entre el microcontrolador, los sensores, así como con los actuadores. Existen diferentes tipos de placas de Arduino que se distinguen por el tamaño, y la cantidad de pines que pueden tener. En la Tabla 1.6 se exponen sus características

Tabla 1. 6. Características de Arduino NANO

| | |
|---|---|
|  A photograph of an Arduino Nano v3.1 microcontroller board. The board is blue and compact, featuring a USB Type-B port on the left, a DC power jack, and a reset button. It has two rows of 14-pin headers for digital I/O and a 6-pin header for analog inputs. The ATmega168 microcontroller is visible in the center. | <ul style="list-style-type: none">- Microcontrolador: ATmega168- Voltaje de funcionamiento: 5 V- Cuenta con pines I/O los cuales son digitales, en total son catorce, y de estos seis tienen salida PWM- Cuenta con ocho pines con entradas análogas- La corriente DC en función de cada pin I/O es igual a 40 mA- La capacidad de la memoria es de dieciséis KB de los cuales dos KB son usados por el bootloader- SRAM: 1 KB- EEPROM: 512 bytes- El reloj tienen una velocidad de dieciséis MHz |
|---|---|

Fuente: Hidalgo (2015)

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

En la presente investigación se realizó una investigación tipo proyecto factible que busca brindar una alternativa tecnológica para el servicio de implantación de folículos capilares con un equipo de ayuda al profesional que sea factible de adquirir ya que es el resultado de un desarrollo tecnológico empleando componentes diseñados y ensamblados en el marco de la presente investigación:

2.1. Métodos

Para el presente trabajo de investigación, se utilizará

Método inductivo – deductivo en lo inductivo se va de lo particular observando, hechos, sucesos u objetos en su estado natural para clasificarlo y analizarlo partiendo desde una generalización y contraste lo que ha de permitir llegar a las conclusiones, en otras palabras, va de lo particular a lo general. En lo deductivo se observa la realidad de lo general a lo particular tratando de comprender macro procesos, procesos, sub-procesos y procedimientos (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018).

En el proyecto de investigación el proceso deductivo se llevó a cabo iniciando una revisión partiendo del tema general de extracción e implante folicular, los principios físico-mecánicos implícitos y el desarrollo tecnológico, y desde allí comprender las fases y los procedimientos implícitos. En lo inductivo una vez identificados los procesos y pasos de la técnica de extracción folicular se realiza el proceso de análisis inverso, es decir desde este punto se diseña el prototipo definiendo cada uno de los componentes hasta el ensamblaje final y su funcionamiento como un equipo integrado.

El **Método científico**: es considerado el método básico de la investigación usado para generar procesos investigativos en diferentes ámbitos del conocimiento científico con relación a los diferentes contenidos o finalidades de estudio o investigación (Ibid, 2018).

El método científico marcó el desarrollo del proceso de investigación siguiendo los pasos que lo conforman, definiendo el problema de investigación, estableciendo la formulación de la pregunta de investigación, definiendo los objetivos de investigación, el diseño del prototipo, el ensamblaje y la posterior comprobación del funcionamiento dando respuesta a la pregunta de investigación.

En relación al **Método lógico**: este método se inicia a partir de las referencias y antecedentes mediante las cuales se pueda establecer procesos y secuencias lógicas, por ello se estructuran de forma lógica los datos de investigación (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018).

En este sentido la lógica de abordaje del proyecto emplea los basamentos teóricos y bajo una secuencia lógica de proceso se estableció el diseño y posterior construcción de la máquina de extracción folicular hasta la fase de prueba de su funcionamiento.

2.2. Tipo de Investigación

La investigación que se presenta responde a la definición de proyecto factible el cual es descrito como aquel donde se lleva a cabo una investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta que sea operativa y viable de ejecutar la cual tiene por finalidad encontrar soluciones a problemas buscando satisfacer las necesidades de las personas. Este tipo de investigación tiene fases para su desarrollo las cuales parten del análisis de las insuficiencias, hasta la implementación de un proyecto para atender el problema de donde se parte (Loly, 2014).

Siguiendo lo descrito en el tipo de investigación el proyecto de diseño y construcción de una máquina de extracción folicular se abordó a través de fases iniciando por el diagnóstico del problema, el diseño de la máquina, el ensamblaje y la prueba, logrando el prototipo como una propuesta que atiende la necesidad de contar con un equipo de extracción folicular que cumpla con los parámetros que requiere la técnica y que al mismo tiempo reduzca el costo del equipo para los especialistas del área siendo económicamente accesible.

2.3. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es el conjunto o secuencias de pasos llevados a cabo para la concreción del trabajo de investigación, en este caso relacionado con un proyecto factible teniendo las siguientes fases:

Se propone las siguientes fases en el desarrollo de un proyecto factible:

Fase I: Identificación de la necesidad

En esta fase se realiza una descripción con detalle de la situación problema que ha sido identificada, las debilidades que se encuentran que determina que es necesario proponer un proyecto que ofrezca una solución (Loly, 2014).

El proyecto de diseño y ensamblaje de una máquina de extracción folicular responde a la necesidad de brindar a los especialistas del área una alternativa que cuente con la misma funcionalidad de las que son comercializadas en la actualidad por empresas que se han encargado de los diseños tecnológicos de última generación, esto último repercute en que son costosas y dificulta el acceso de la adquisición por parte de los especialistas.

Fase II. Revisión documental sobre tecnologías similares a la propuesta

Es necesario recopilar información confiable de diferentes fuentes, también se realiza encuentros con especialistas relacionados con el tema del proyecto, al recabar la información será posible analizar y comparar para generar las alternativas de solución (Loly, 2014).

Esta actividad fue cumplida a través de la revisión de la información provista por las empresas que han desarrollado máquinas de extracción folicular, también sirvió de apoyo la revisión de publicaciones científicas relacionadas con la técnica de implante folicular que describen además parte de los equipos empleados, por último el acercamiento a especialistas del área y conocer de primera fuente sus necesidades y la observación del proceso que realizan en la extracción folicular y los equipos que emplean.

Fase III. Análisis de la información y viabilidad técnica

En esta fase se prioriza las necesidades para definir el problema a atender, también se evalúa la disponibilidad de recursos, este proceso debe realizarse con cada uno de los objetivos planteados. Se acompaña a esta fase la evaluación de la viabilidad en término del uso óptimo de recursos y el efecto que puede tener el proyecto en función del área que atiende. Se reconoce también los elementos técnicos necesarios para el desarrollo del proyecto de orden material, económico, humano (Loly, 2014).

En esta fase se valoró además la información de la que se disponía y la atención de la necesidad de producir una máquina de extracción folicular que atendiera las necesidades de los especialistas en cuanto a proceso técnico y accesibilidad en precio. La viabilidad fue considerada encontrando que en el país se cuenta con los equipos e implementos para el desarrollo de la máquina de extracción folicular, desde el punto de vista del recurso humano la formación adquirida en la institución brindo la posibilidad al investigador de contar con la experticia necesaria para el desarrollo del prototipo.

Fase IV Diseño de la propuesta

Una vez que se obtienen los resultados se procede a plantear la propuesta atendiendo las necesidades que originaron el proyecto. Es necesario que se detalle lo relacionado con: los objetivos que se persiguen, el proceso técnico que amerita el desarrollo de la propuesta, las actividades, los recursos técnicos-materiales, y la definición de plazos de ejecución (Loly, 2014).

En el desarrollo del proyecto de la máquina de extracción folicular fueron considerados los procesos técnicos requeridos para su generación, fueron definidos los recursos materiales y económicos y se estableció un cronograma de trabajo que incluyo las diferentes fases del proyecto.

Fase V. Ejecución del proyecto

Consiste en la implementación del proyecto, preparando su implementación para luego

proceder a su ejecución (Loly, 2014).

Una vez cumplidas las fases previas del proyecto factible se realizó el ensamblaje de la máquina haciendo las pruebas respectivas en un centro de trasplante capilar ubicado en la ciudad de Quito para que fuera evaluado su funcionamiento por un especialista del área

CAPÍTULO III

PROPUESTA

En este proyecto se propone crear a un precio más accesible una máquina extractora de folículos de características similares a las mencionadas en las páginas (26-28), misma que automatizará la extracción de unidades foliculares a través de un sistema de succión, empleando un sistema diseñado para simplificar y optimizar el proceso completo de trasplante capilar, garantizando la total preservación del folículo piloso durante el proceso.

3.1. Procedimiento seguido para el diseño del equipo de extracción folicular

El proyecto se inició con la investigación y revisión documental para conocer la tecnología empleada para el ensamblaje de máquinas de extracción de folículos capilares, siendo el principio fundamental la extracción por vacío. Además, fueron identificados los componentes principales de este tipo de máquinas iniciando por el bisturí de incisión y extracción, del folículo; turbina, y una bomba de vacío. En la Figura 3.1 se presenta el flujograma del proyecto de la máquina de extracción folicular.

Máquina extractora de folículos pilosos.

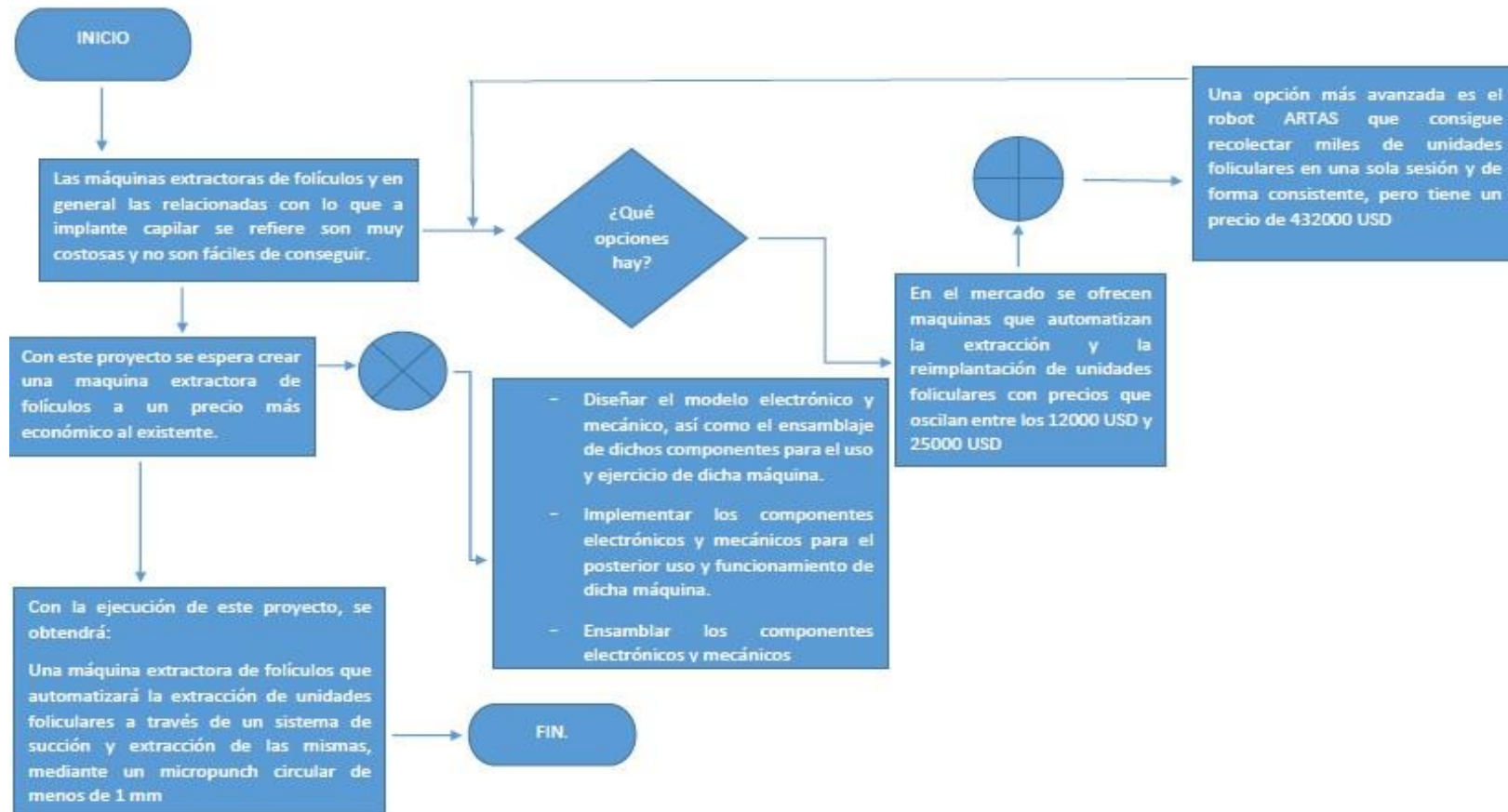


Figura 3. 1. Flujograma del proyecto de la máquina extractora de folículos capilares
Fuente: Chalá, 2020

3.2. Diseño del prototipo y piezas constituyentes

El prototipo propuesto responde a un sistema de extracción de folículo el cual se basa en una incisión realizada por un bisturí cilíndrico con diámetro de incisión entre 0,5mm y 1 mm, el bisturí circular en simultánea gira y efectúa una presión para penetrar en la piel, perfora alrededor del folículo sin dañarlo y este es extraído por medio de la presión negativa generada por el vacío. En la figura 3.2 pueden verse los componentes empleados para el ensamblaje del equipo de extracción de folículos, los mismos fueron:

| <i>Componentes del circuito:</i> |
|---|
| • <i>LM2596 Reductor de voltaje DC-DC</i> |
| • <i>Arduino Nano</i> |
| • <i>IRFZ24N (Mosfet)</i> |
| • <i>7808 (Regulador de voltaje)</i> |
| • <i>Capacitor 22Uf, 50 V</i> |

Figura 3. 2. Componentes del circuito de la máquina de extracción folicular
Fuente: Chalá, 2020

3.3. Descripción de los componentes del circuito

Arduino NANO.

Arduino es una pequeña placa de componentes electrónicos de hardware libre cuya parte vital es un microcontrolador de tipo programable y reprogramable con una continuación de pines, a partir de los cuales se establecen conexiones con el controlador, los numerosos y los distintos sensores, es decir este microcontrolador es el cerebro de un circuito o maquinaria que se desee construir.

Este dispositivo y su diagrama constituido por pines se presenta en la Figura 3.3 el cual es el cerebro del circuito.

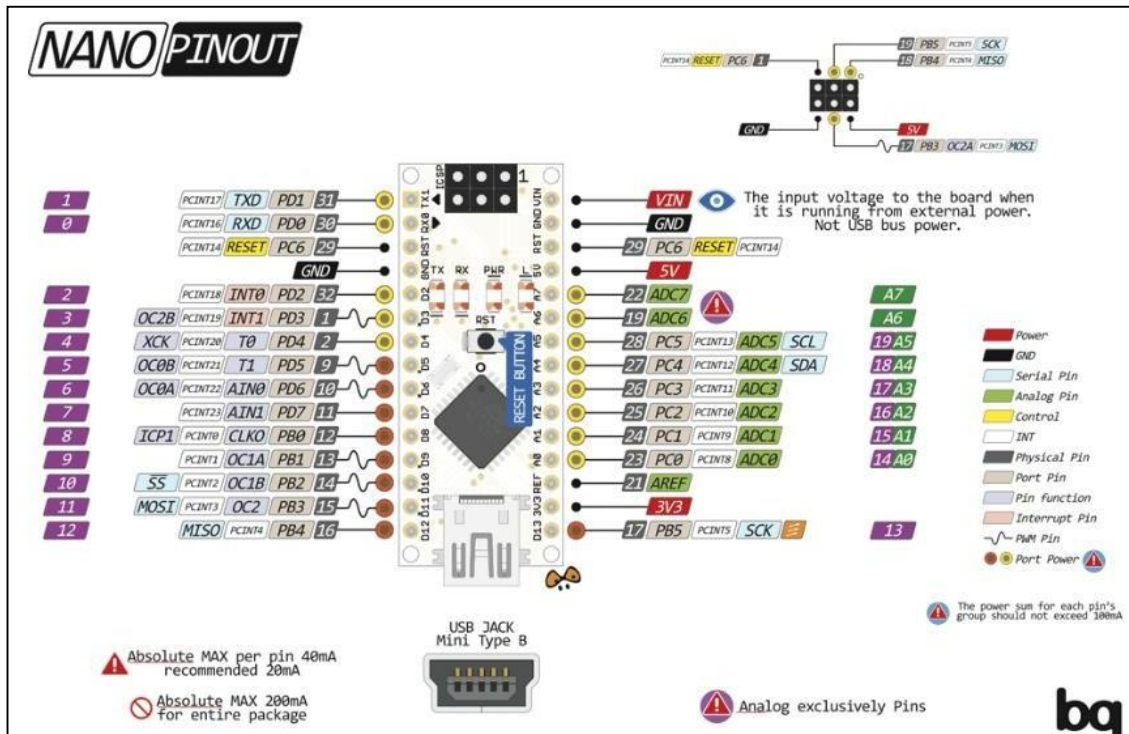


Figura 3.3 Diagrama de pines de Arduino NANO.
 Fuente: <https://components101.com/microcontrollers/arduino-NANO>

LM2596 Reductor de voltaje DC-DC

Se lo puede apreciar en la Figura 3.4, este tiene la habilidad de convertir un cierto nivel de voltaje sea a un mayor o un menor nivel utilizando para dicho fin un potenciómetro multivuelta. Para el caso de la máquina extractora de fólculo se empleó un reductor LM2596 para reducir el voltaje de entrada de la fuente de poder de 24v a 5v.

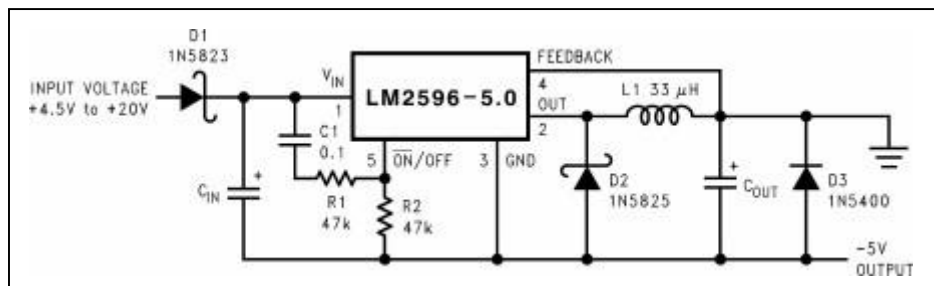


Figura 3.4. LM2596 Circuito reductor de voltaje DC-DC de la máquina de extracción folicular
 Fuente: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>

IRFZ24N (Mosfet)

Como se muestra en la Figura 3.5 consiste en un transistor que se emplea para amplificar o conmutar señales de naturaleza eléctrica. Es incorporado al sistema debido a que el motor del equipo es controlado por Arduino, en este caso envía 5 voltios y 40 mA, mientras que el motor funciona con 14 voltios y 1,5 A, mientras que desde el Arduino se entrega 5V y 1500 mA teniendo en cuenta que $1A = 1000mA$.

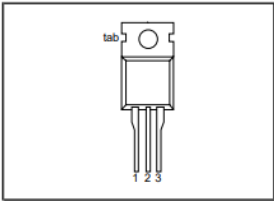
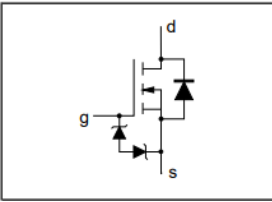
| PINNING - TO220AB | | PIN CONFIGURATION | SYMBOL |
|-------------------|-------------|---|--|
| PIN | DESCRIPTION |  |  |
| 1 | gate | | |
| 2 | drain | | |
| 3 | source | | |
| tab | drain | | |

Figura 3.5. Datasheet Mosfet IRFZ24N.

Fuente: https://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/1019/IRFZ24N_127-pdf.php

Por lo tanto, el Arduino no es capaz de encender la turbina, ya que su funcionamiento depende de que reciba un voltaje de 15 voltios y esté conectada a tierra. Por ello una de las terminales del motor está conectada a 15 voltios, mientras que la otra terminal se conecta al transistor por intermedio del drain. El otro extremo del transistor –source- se conecta al GND (tierra). Ocurre una saturación al aplicar una señal en la base del transistor, transformándose en un circuito cerrado que a su vez se conecta a un terminal del motor a GND (tierra). Lo anterior permite que el motor inicie su funcionamiento ya que cumple con la condición que un terminal esté conectado a 15v y el otro terminal a GND

Al aplicar la señal al transistor, se llena y cierra el circuito que está conectado al terminal de motor a tierra. De esta forma se logra que el motor inicie el funcionamiento al cumplir la condición de que un terminal se conecta a 15 voltios y el otro terminal se encuentra conectado a tierra. La señal que se aplica al transistor es proporcionada por microcontrolador

Regulador de voltaje 7808

La función del regulador de voltaje es hacer que la tensión se mantenga constante, evitando altas y bajas que puedan darse en el nivel de voltaje, también regula el ruido que pudiera

existir, se lo usa en el circuito para evitar que las variaciones de tensión dañen componentes sensibles como Arduino NANO, se muestra su imagen en la Figura 3.6

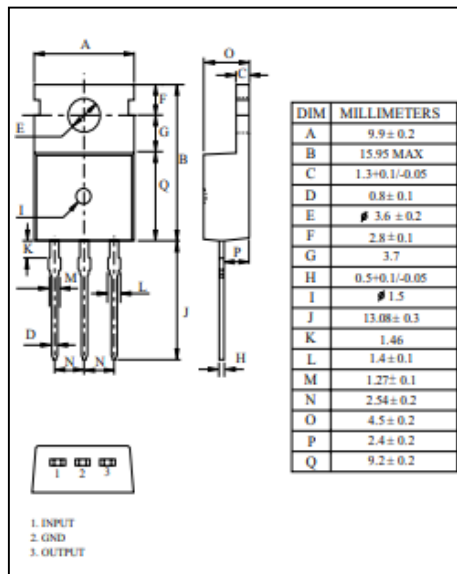


Figura 3.6 Datasheet regulador de voltaje 7808.

Fuente: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/69439/KEC/7808.html>

Capacitor

El Capacitor, cuya imagen técnico descriptiva se observa en la Figura 3.7 es un componente electrónico con dos placas de metal de tamaño pequeño teniendo por finalidad almacenar energía con base a la tolerancia que sea especificada.

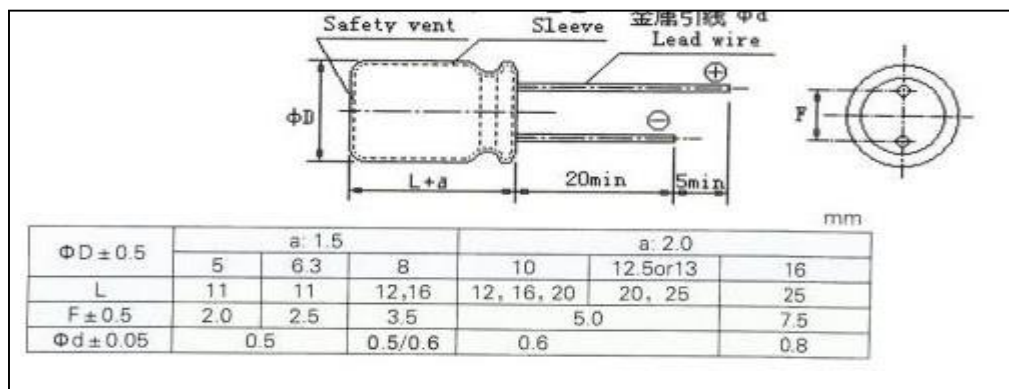


Figura 3.7. Datasheet capacitor 22uF, 50 V.

Fuente: https://image.micros.com.pl/_dane_techiczne_auto/kekr%20%202250t.pdf

Resistencia

Este componente electrónico opone oposición al paso de corriente eléctrica según la tolerancia que sea especificada.

Diodo

Su imagen se aprecia en la Figura 3.8 es un diodo rectificador de propósito general. Su función principal es la de conducir corriente en una sola dirección, esto para evitar el regreso de corriente al Arduino NANO cuando es aplicado en el circuito del MOSFET que eleva el voltaje de 5v a 14v.

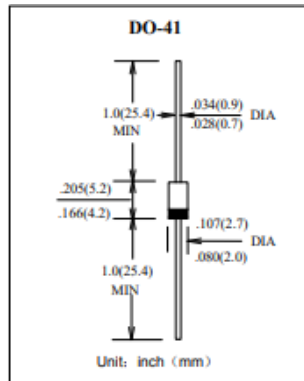


Figura 3. 8. Diodo 1N4007.

Fuente:<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/445568/DACHANG/1N4007.html>

Pantalla LCD

La pantalla es frecuentemente usada para la presentación de un mensaje, amerita de once pines tanto de entrada como de salida. La Figura 3.9 presenta la imagen de este dispositivo.

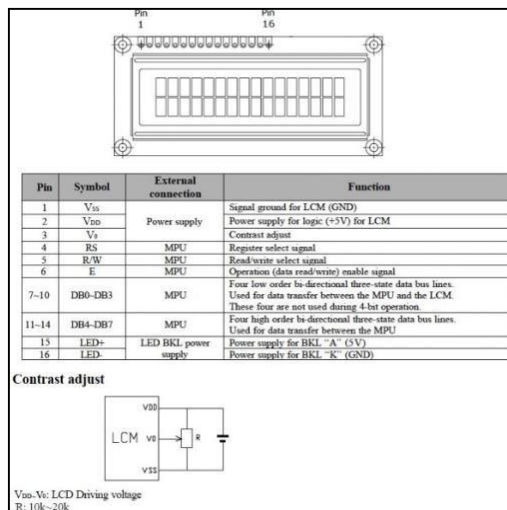


Figura 3. 9. Datasheet pantalla LCD 16 x 9

Fuente:<https://www.winstar.com.tw/es/products/character-lcd-display-module/16x2-datasheet.html>

Diseño del case

Dadas las características intrínsecas de este proyecto se inició la búsqueda de un material que sea versátil, fuerte, aislante térmico, aislante eléctrico, económico, anti inflamable, moldeable y a la vez liviano, cuya imagen se puede ver en la Figura 3.10, esto para resistir el funcionamiento de la bomba de vacío, así como, de bajo mantenimiento. En función de los requerimientos antes mencionados se optó por la fibra de vidrio, ya que, gracias a sus particularidades intrínsecas, no necesita de un mantenimiento especial o costoso, además la resina es un ingrediente clave de la fibra de vidrio que le otorga resistencia frente al desgaste químico y ambiental. Esto conduce instintivamente a ahorros de costos en el tiempo.



Figura 3. 10. Fibra de vidrio.
Fuente: Chalá 2020

Para la realización del prototipo del case se utilizó el programa Solid Works, esto por su versatilidad en cuanto a diseño de piezas se refiere, se optó por el uso de curvas en este diseño ya que las líneas curvas con transiciones poco profundas o largas son suaves y conceptualizan un efecto de destreza brindando una sensación de modernidad y comodidad al usar esta máquina, como puede verse en las Figuras 3.11 y 3.12 respectivamente.

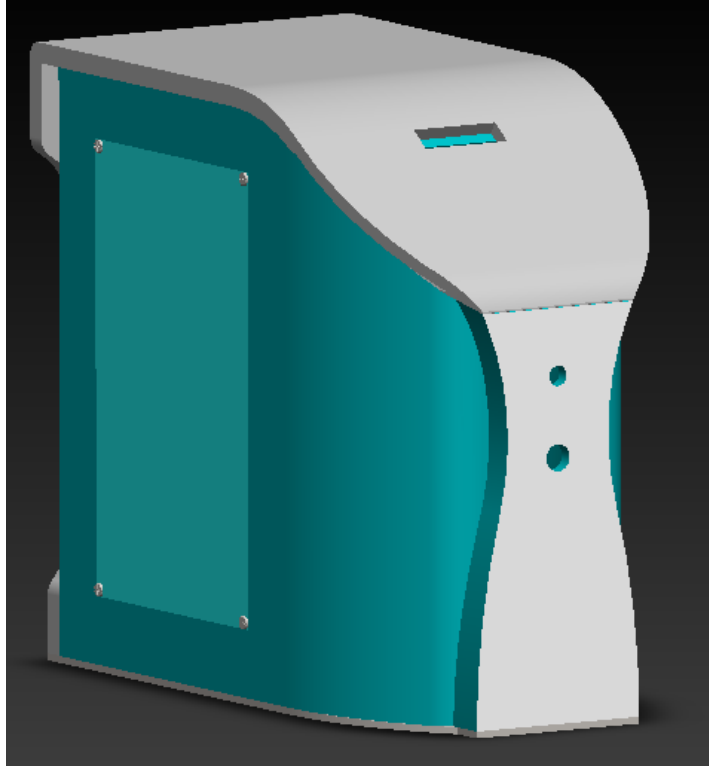


Figura 3. 11. Vista frontal máquina extractora de folículos diseñada en Solid Works.
Fuente: Chalá 2020

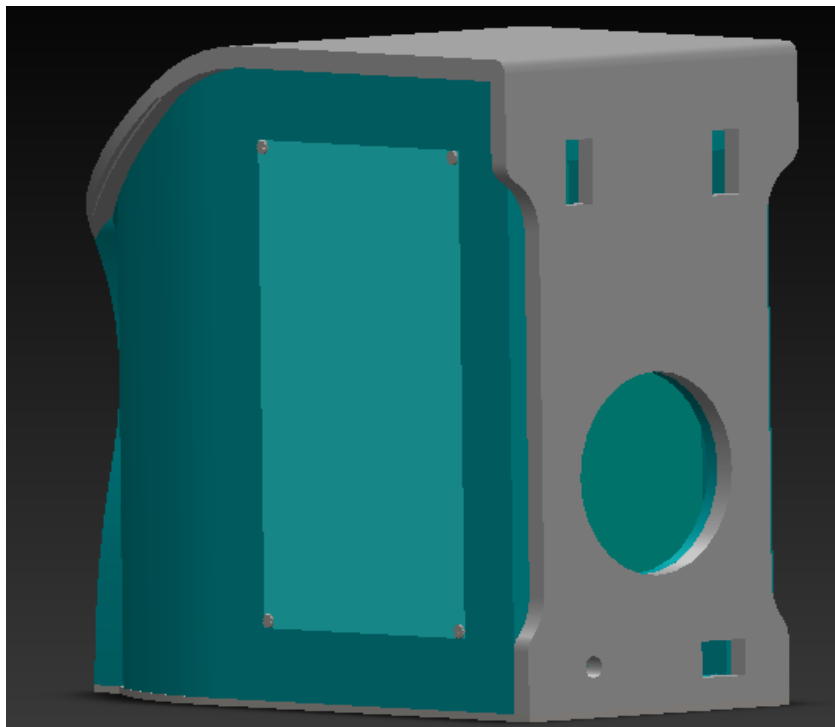


Figura 3. 12. Vista posterior máquina extractora de folículos diseñada en Solid Works.
Fuente: Chalá 2020

Diseño del circuito

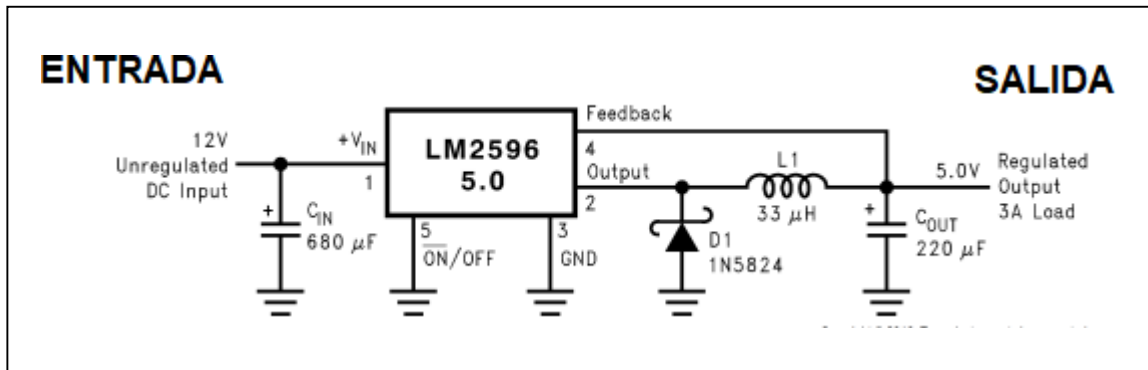
El circuito de esta máquina es un circuito simple, la principal función de este es hacer funcionar la turbina en la cual va acoplado el bisturí circular, mismo que se encargará de hacer el micropunch en el cuero cabelludo para la posterior extracción del folículo piloso, pues bien, como se mencionó arriba la idea principal es entonces crear un circuito que haga girar la turbina, sabiendo que la turbina gira a un máximo de 9600 rpm, lo siguiente es regular esa velocidad por medio de un potenciómetro, y un interruptor de tipo pedal, que activará el funcionamiento de dicha turbina, para esto se recurrió al uso de un microcontrolador, para ser más específico Arduino NANO, en éste se programará un código capaz de hacer lo antes descrito. Para establecer cuál salida de una placa guía de Arduino corresponde a un número de pin y puerto específico, se debe de tomar en cuenta que la nomenclatura que se observa en la placa de Arduino, no es de utilidad y por lo tanto se fijan los puertos y números correspondientes basándonos en las siguientes imágenes (proporcionadas por el datasheet de la pantalla LCD). Se empieza conectando el cerebro de este circuito (Arduino NANO), a la pantalla LCD, según los pines especificados en la Figura 3.13



Figura 3. 13. Distribución de Pines - Placa Arduino Nano- ATmega328.

Fuente: <https://www.innovadomotics.com/mn-tuto/mn-mcr/mn-bas/th-bas/4-4-control-del-lcd-16x2.html>

El siguiente paso es conectar la fuente de 24v al reductor de voltaje LM2596, como se aprecia en la Figura 3.6, mismo que hará descender el voltaje de 24v a 5v que es el voltaje de funcionamiento del Arduino NANO.



Aplicación típica de circuito LM2596

Fuente: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>

El valor del capacitor para este circuito se lo tomó de la Tabla 3.14, la misma es provista para su uso por el fabricante del circuito LM2596. De esta tabla, se ubica la columna de voltaje de salida, desde esa columna, se ubica el voltaje de salida más cercano al voltaje de salida en el circuito. Para voltajes de salida superiores a aproximadamente 10 V, se requiere un condensador adicional. La compensación el condensador es típicamente entre 100 pF y 33 nF. En la mayoría de circuitos, condensadores de tantalio electrolíticos o sólidos de baja ESR entre 82 µF y 820 µF proporcionan los mejores resultados. (Texas Instruments Co., 2020)

La clasificación de voltaje del capacitor debe ser al menos 1.5 veces mayor que el voltaje de salida, y muy a menudo se requieren clasificaciones de voltaje más altas para satisfacer los requisitos bajos de ESR requeridos para un voltaje de ondulación de salida bajo. No se deben usar condensadores de más de 820 µF. (Texas Instruments Co., 2020).

| OUTPUT VOLTAGE (V) | THROUGH-HOLE OUTPUT CAPACITOR | | | SURFACE-MOUNT OUTPUT CAPACITOR | | |
|--------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| | PANASONIC HFQ SERIES (µF/V) | NICHICON PL SERIES (µF/V) | FEEDFORWARD CAPACITOR | AVX TPS SERIES (µF/V) | SPRAGUE 595D SERIES (µF/V) | FEEDFORWARD CAPACITOR |
| 2 | 820/35 | 820/35 | 33 nF | 330/6.3 | 470/4 | 33 nF |
| 4 | 560/35 | 470/35 | 10 nF | 330/6.3 | 390/6.3 | 10 nF |
| OUTPUT VOLTAGE (V) | THROUGH-HOLE OUTPUT CAPACITOR | | | SURFACE-MOUNT OUTPUT CAPACITOR | | |
| | PANASONIC HFQ SERIES (µF/V) | NICHICON PL SERIES (µF/V) | FEEDFORWARD CAPACITOR | AVX TPS SERIES (µF/V) | SPRAGUE 595D SERIES (µF/V) | FEEDFORWARD CAPACITOR |
| 6 | 470/25 | 470/25 | 3.3 nF | 220/10 | 330/10 | 3.3 nF |
| 9 | 330/25 | 330/25 | 1.5 nF | 100/16 | 180/16 | 1.5 nF |
| 12 | 330/25 | 330/25 | 1 nF | 100/16 | 180/16 | 1 nF |
| 15 | 220/35 | 220/35 | 680 pF | 68/20 | 120/20 | 680 pF |
| 24 | 220/35 | 150/35 | 560 pF | 33/25 | 33/25 | 220 pF |
| 28 | 100/50 | 100/50 | 390 pF | 10/35 | 15/50 | 220 pF |

Figura 3. 14. Tabla de selección de condensador de salida y condensador de avance.

Fuente: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>

Para los valores de las resistencias en este circuito se usa la ecuación 1 (obtenida del datasheet LM2596) usada por el fabricante para seleccionar los valores de resistencia apropiados.

$$V_{Out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \text{ donde } V_{ref} = 1.23v \rightarrow \text{(Ecuación 1)}$$

Se selecciona un valor para R1 entre 240 Ω y 1.5 k Ω . Los valores de resistencia más bajos minimizan la captación de ruido en el sensible pin de retroalimentación. (Para el coeficiente de temperatura más bajo y la mejor estabilidad con el tiempo, se usa 1% de película metálica resistencias) Los valores de resistencia más bajos minimizan la captación de ruido en el sensible pin de retroalimentación.

Se calcula R2 con la ecuación 2

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 \right) \rightarrow \text{(Ecuación 2)}$$

Se selecciona R1 ser 1 k Ω . Se resuelve para R2 en la ecuación 3.

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 \right) \rightarrow \text{(Ecuación 3)} = 1K \left(\frac{20V}{1.23V} - 1 \right) \rightarrow \text{(Ecuación 3)}$$

$$R_2 = 1k (16,26 - 1) = 15,26k, \text{ el valor de 1\% más cercano es } 15.4 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 15.4 \text{ k}\Omega$$

Fuente de poder (DRC-24V 100W 1A)

La función de la fuente de poder es el de transformar la corriente alterna en corriente continua alimentando los diferentes circuitos del dispositivo electrónico a la que se conecta, tiene la característica de que ofrece una doble entrada aislada, por lo que no amerita una conexión a tierra resultando además una baja corriente de fuga. Tiene un rango de voltaje entre 90-264 Vac, y rango de temperatura de 25-71 °C. aislada. La Figura 3.15 ofrece la imagen de este componente.



Figura 3. 15. Fuente de poder (DRC-24V 100W 1A).
Fuente: <https://www.digikey.com/product-detail/es/delta-electronics/DRP024V060W1AZ/603-1225-ND/2236868>

Potenciómetro

Un potenciómetro es un resistor eléctrico con un valor de resistencia variable (Ingeniería Mecafenix, 2017).

MOSFET

Es un terminal semiconductor empleado para conmutar o amplificar señales empujando para ello señales de voltaje. Por medio de un simulador se crea un circuito para encender y apagar una turbina de 5 voltios y 1,5 amperios usando un microcontrolador. Este motor es controlado por arduino requiriendo entregar 5V y 1500 mA dado que se cuenta con 5 v y 40 mA valores que se encuentran por debajo de lo que necesita el motor 15v y 1,5 A, siendo que 1A es igual a 1000 mA. La Figura 3.16 detalla el mosfet.

Para ello se utiliza un transistor MOSFET o BJT:

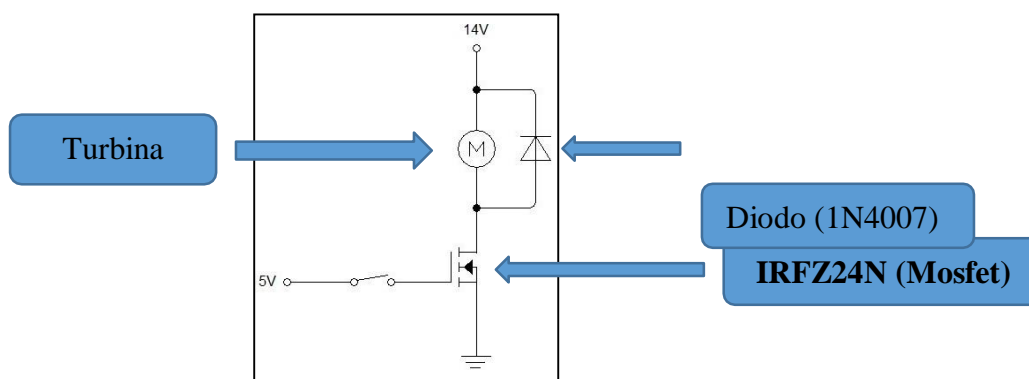


Figura 3. 16. Circuito MOSFET para turbina
Fuente: Chalá 2020

El funcionamiento del motor amerita entre 15 voltios y GND (tierra). Se debe tomar en cuenta que una de las terminales del motor está conectada a 15 voltios, mientras que la otra terminal se conecta al transistor por intermedio del drain. El otro extremo del transistor – source- se conecta al GND (tierra). Ocurre una saturación al aplicar una señal en la base del transistor, transformándose en un circuito cerrado que a su vez se conecta a un terminal del motor a GND (tierra). Lo anterior permite que el motor inicie su funcionamiento ya que cumple con la condición que un terminal esté conectado a 15v y el otro terminal a GND (tierra). La señal aplicada a la base del transistor la genera el microcontrolador como una fuente de 5 voltios con interruptor. Detalle del microcontrolador se aprecia en la siguiente Figura 3.17.

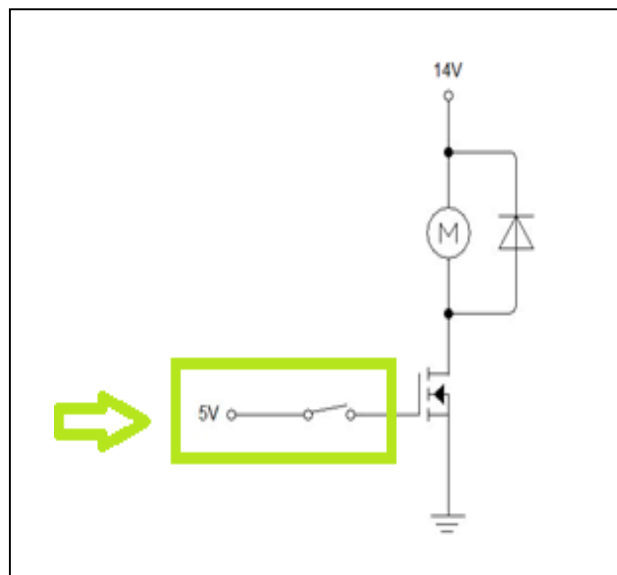


Figura 3. 17. Fuente de 5 voltios con un interruptor
Fuente: Chalá 2020

Se ha conseguido con una señal de 5 voltios arrancar un motor de 15 voltios que consume 1.5 A.

- A continuación, en la Figura 3.20 se muestran los datos (obtenidos del datasheet del MOSFET) para los cálculos correspondientes, mismos que se muestran en la página 55, para: V_{DD} ,

$$V_{DS}, I_D \text{ y } P_{mos}$$

En la Figura 3,18 se muestra un esquema previo del circuito en el que se incluye al MOSFET, mismo que se usará para el posterior cálculo de V_{DD} , V_{DS} , I_D , P_{mos} .

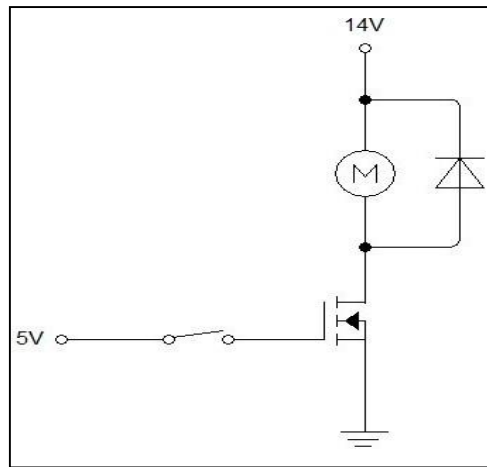


Figura 3. 18. Cálculo de V_{DD} , V_{DS} , I_D , P_{mos}
Fuente: Chalá 2020

- Se tiene una señal rectangular como se ve en la Figura 3.19 que va de 0v a 5v, cuando se recibe la señal de 5v, el Mosfet está encendido, caso contrario está apagado.

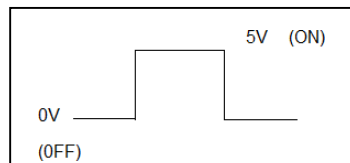


Figura 3. 19. Condición de encendido Mosfet
Fuente: Chalá 2020

QUICK REFERENCE DATA

| SYMBOL | PARAMETER | MAX. | UNIT |
|--------------|--|------|-------------|
| V_{DS} | Drain-source voltage | 55 | V |
| I_D | Drain current (DC) | 17 | A |
| P_{tot} | Total power dissipation | 45 | W |
| T_j | Junction temperature | 175 | $^{\circ}C$ |
| $R_{DS(ON)}$ | Drain-source on-state resistance $V_{GS} = 10\text{ V}$ | 70 | $m\Omega$ |

Figura 3. 20. Datos de referencia MOSFET IRFZ24N.

Fuente: <https://alltransistors.com/es/mosfet/transistor.php?transistor=3377>

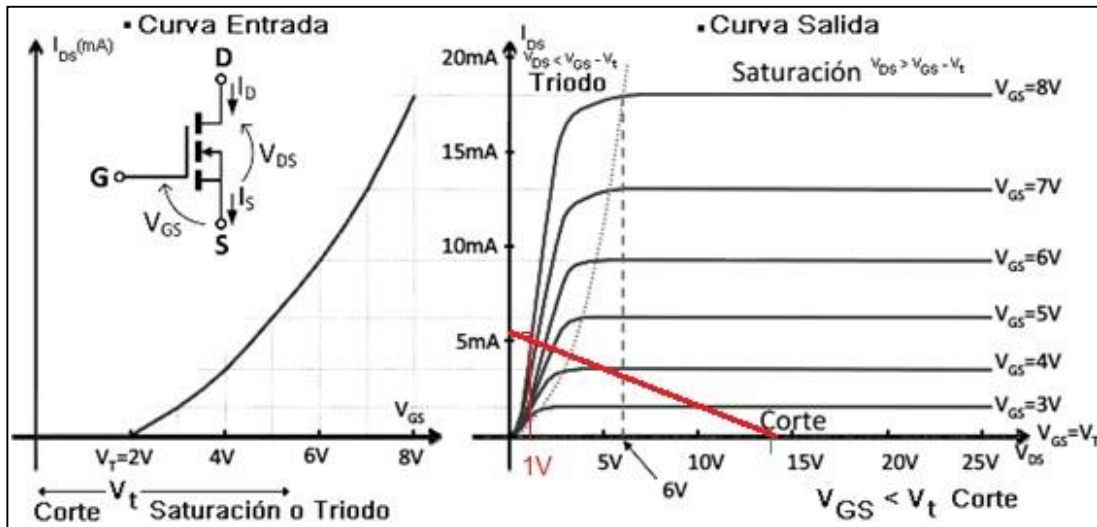


Figura 3. 21. Curva entrada y salida de corte y saturación de un MOSFET.
Fuente: <https://alltransistors.com/es/mosfet/transistor.php?transistor=3377>

- $V_{DD} - I_D R_m - V_{DS} = 0$
- $I_D = 0 \Rightarrow V_{DS} = V_{DD} = 14V$
- $V_{DS} = 0 \Rightarrow I_D = \frac{V_{DD}}{R_m} = \frac{14}{2.7} = 5.18A$
- $P_{MOS} = V_{DS} \cdot I_D \Rightarrow (0.8) (5) = 4W$

Diseño de placa (realizada en el simulador Proteus)

Basándose en los cálculos arriba descritos se realizó un diseño esquemático del circuito (en el simulador Proteus) que se encarga del funcionamiento de la turbina de la máquina de extracción folicular propuesta en la investigación. Se describe a continuación el funcionamiento del esquema del circuito siguiendo la Figura 22:

Como se observa en la Figura 3.22, el primer paso es acoplar la pantalla LCD al Arduino NANO siguiendo los siguientes pasos:

- Se conecta el pin 1 del LCD al GND de Arduino.
- El pin 2 del LCD 5V en Arduino.
- El pin 4 va al pin 12 de Arduino.
- El pin 5 se conecta a GND.
- El pin 6 del LCD va al pin 11 en Arduino.
- Los pines 7, 8, 9 y 10 del LCD no se conectan.
- Los pines 11, 12, 13 y 14 del LCD se conectan en el 5, 4, 3 y 2 del Arduino, respectivamente.
- El pin 15 se conecta en 5V y el pin 16 se conecta en GND.

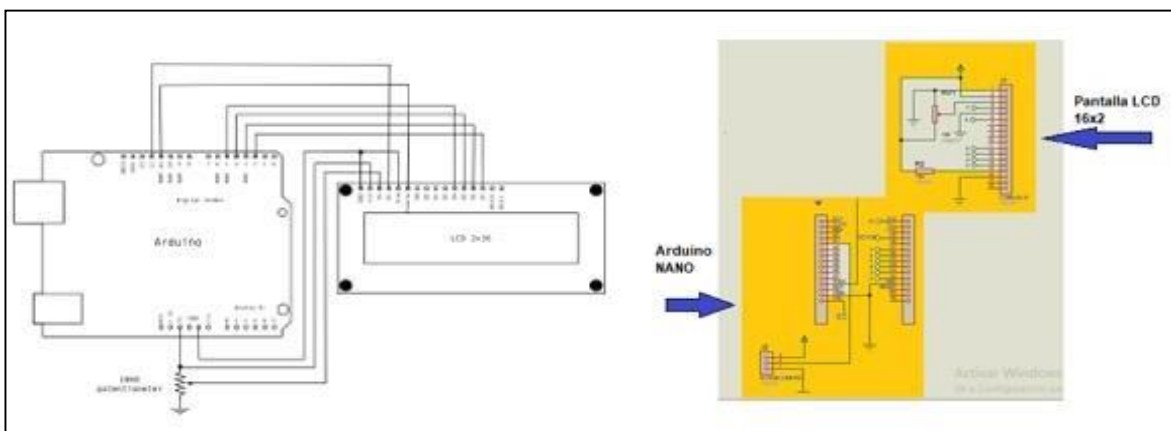


Figura 3. 22. Conexión entre pantalla LCD y Arduino NANO.
Fuente: Chalá 2020

- Nótese que se agregó, un potenciómetro entre el pin A1 de Arduino NANO y tierra, esto para controlar el número de revoluciones de la turbina, mismas que se mostrarán en forma de porcentajes, en la pantalla LCD.
- El siguiente paso es conectar la fuente 24 V DC, a los pines de entrada del reductor de voltaje LM2596 Figura 3.23

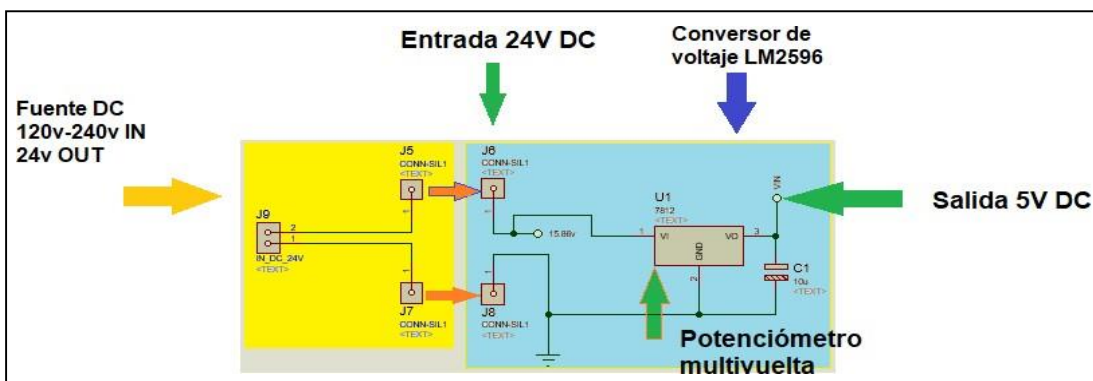


Figura 3. 23. Diagrama de unión entre fuente 24V DC y reductor de voltaje LM2596.
Fuente: Chalá 2020

- Como se mencionó anteriormente la turbina va a ser controlada por un microcontrolador (Arduino), o sea que para el funcionamiento de la turbina se cuentan con 5V y 40 mA, siendo esto una corriente y voltaje muy inferior al que necesita la turbina (15V y 1.5 amperios).
- El pin D9 de Arduino NANO, cuenta con una salida de 5V, (a partir de aquí se arma un circuito típico para transistores de enriquecimiento, como se ve en la Figura 3.24), este se conecta a una resistencia de $1k\Omega$, la cual a su vez va conectada al MOSFET IRFZ24N, en la salida del gate de este transistor se colocó un diodo 1N4007, que permitió a la corriente fluir en una sola dirección, la función de este MOSFET es la de amplificar la señal de voltaje de 5V a 15,8V, como es característico de este tipo de circuitos, la señal de 5V sirve como interruptor para accionar el MOSFET, en la terminal J4 se cierra este circuito, razón por la cual es tomada como fuente de alimentación para la turbina.

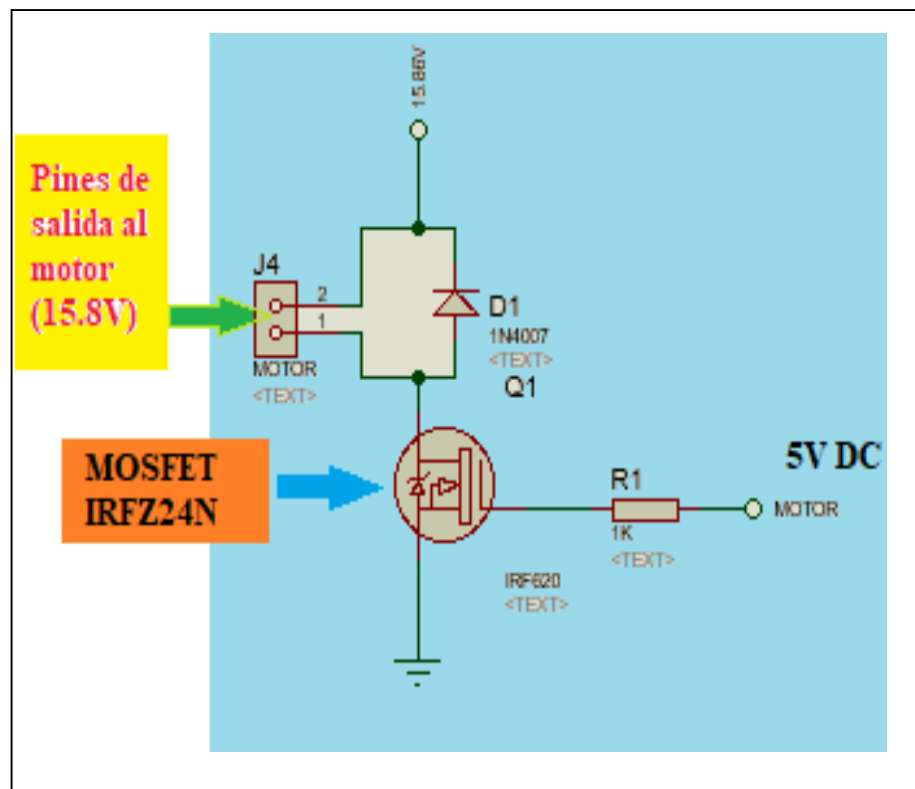


Figura 3. 24. Circuito MOSFET
Fuente: Chalá 2020

- En esta parte se cierra el circuito, razón por la cual se colocó un interruptor de tipo pedal, como se ve en la Figura 3.25, mismo que accionará todo el circuito.

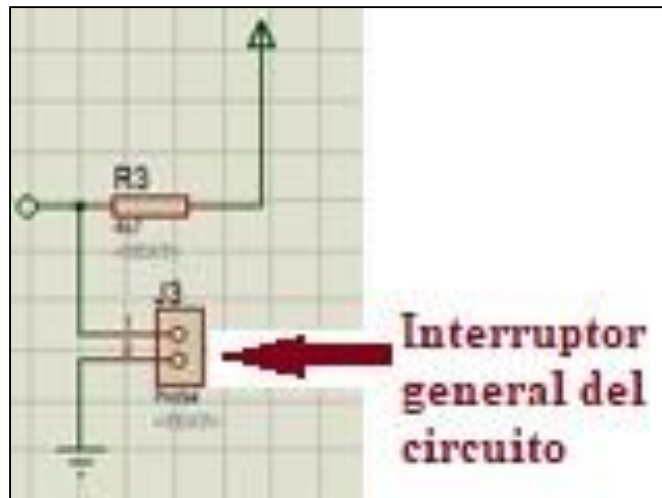


Figura 3.25. Interruptor tipo pedal.
Fuente: Chalá 2020

- Al término del ensamble de las piezas arriba descritas, se generó el siguiente plano esquemático descrito en la Figura 3.26 (plano esquemático generado en Proteus).

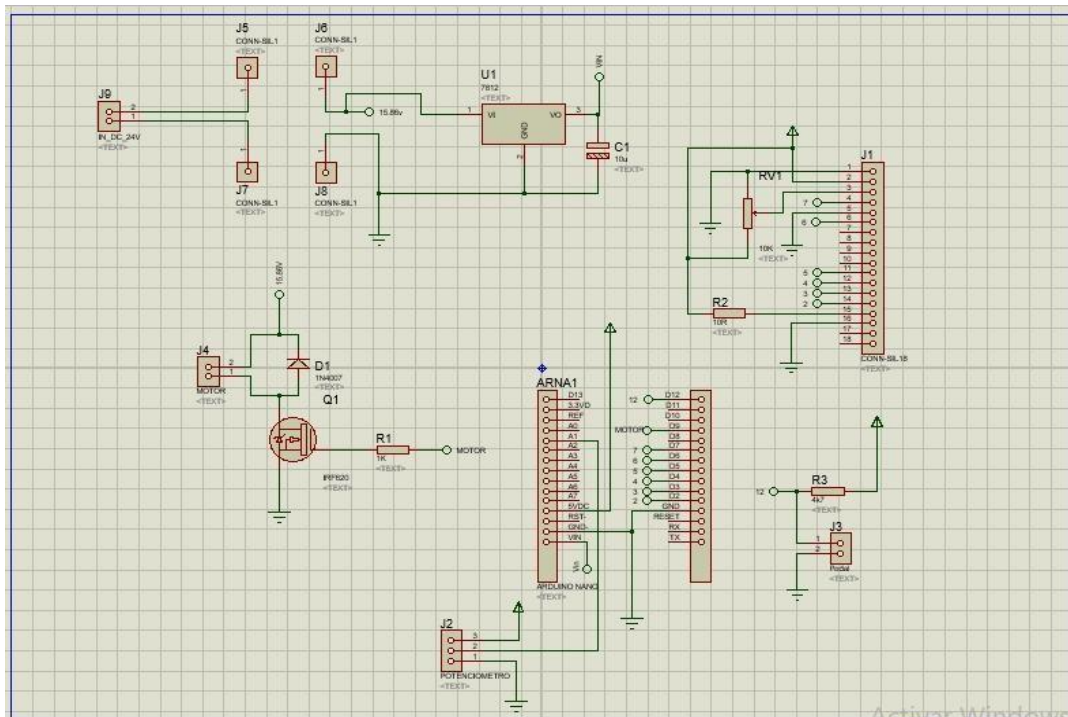


Figura 3.26. Plano esquemático generado en Proteus
Fuente: Chalá 2020

- A continuación, se observa en la Figura 3.27 la placa PCB lista a ser impresa.

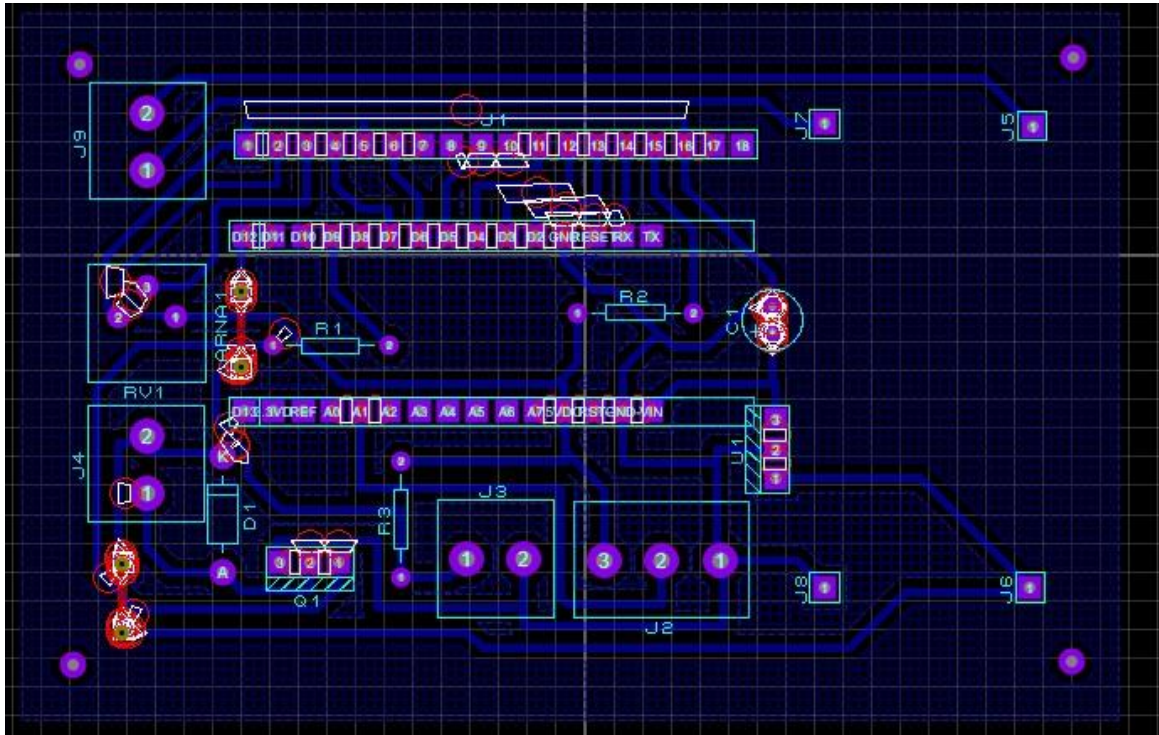


Figura 3. 27. Placa PCB lista a ser impresa

Fuente: Chalá 2020

CAPÍTULO IV IMPLEMENTACIÓN

4.1. Ensamble del Case

La implementación del proyecto se inició con el ensamble de las diferentes partes del case, creadas con el software Solid Works 2019, en fibra de vidrio. La Figura 4.1-4.7 presenta las diferentes piezas diseñadas para el *case*.

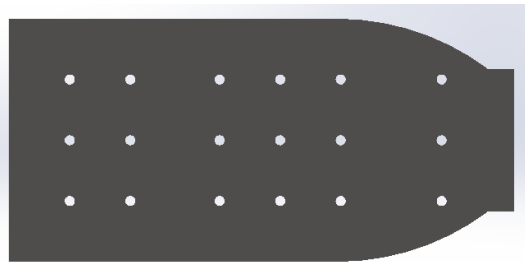


Figura 4. 1. Base del case (modelada en acero)
Fuente: Chalá 2020

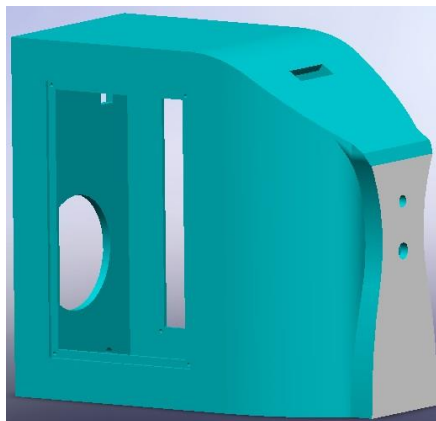


Figura 4. 2. Case primario.
Fuente: Chalá 2020

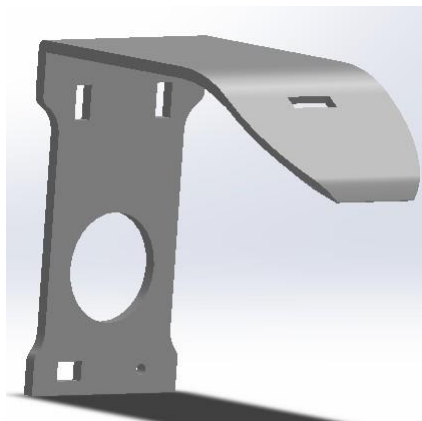


Figura 4. 3. Cubierta del Case
Fuente: Chalá 2020

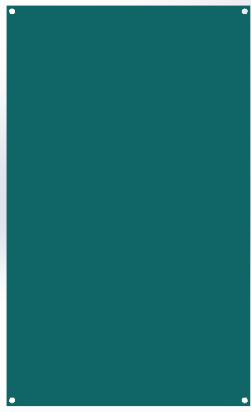


Figura 4. 4. Tapas laterales del case
Fuente: Chalá 2020

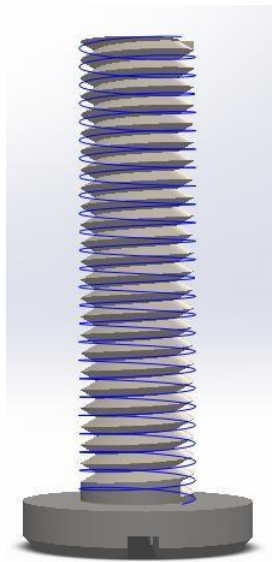


Figura 4. 5. Tornillo del case
Fuente: Chalá 2020

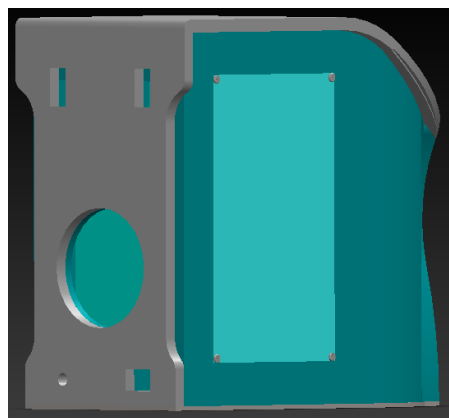


Figura 4. 6. Vista posterior del case
Fuente: Chalá 2020

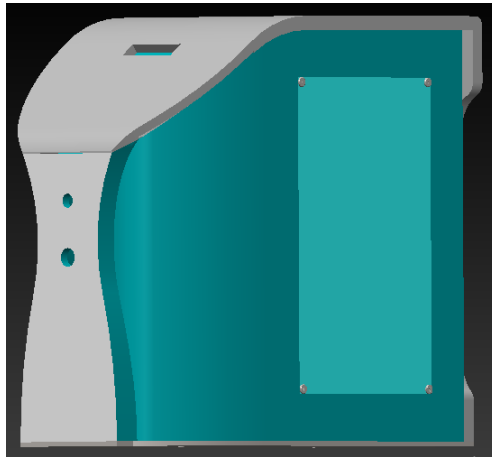


Figura 4. 7. Vista frontal del case
Fuente: Chalá 2020

En la Figura 4. 8. Se observa el circuito esquemático diseñado en Proteus, para el funcionamiento de la turbina

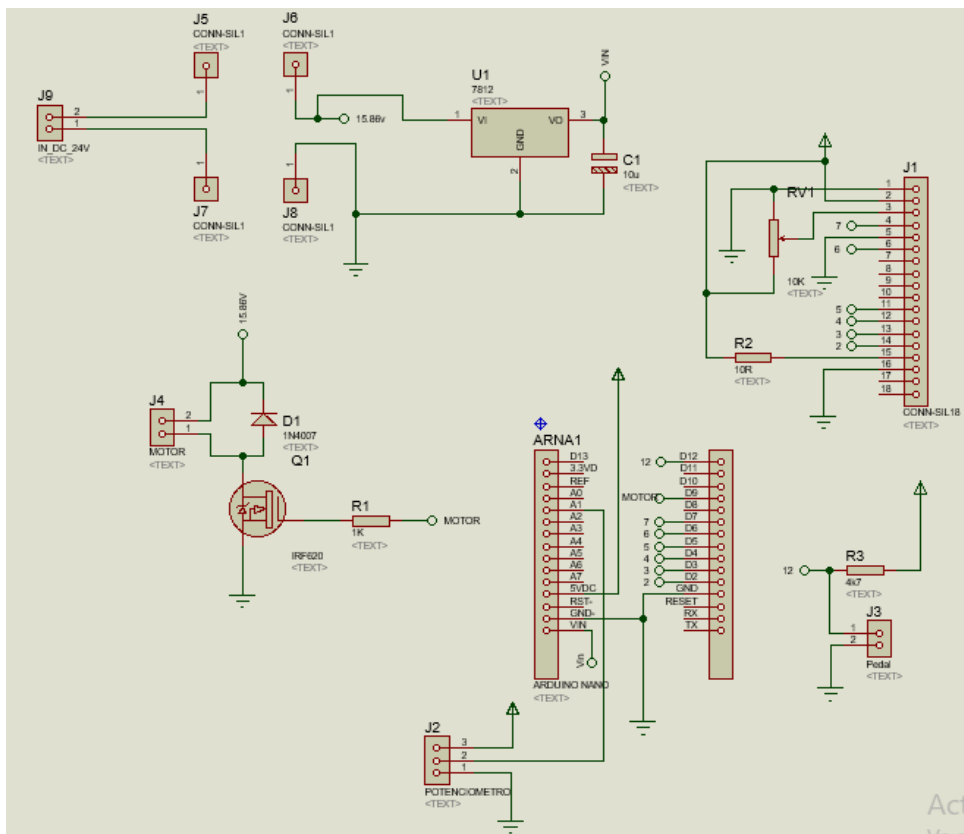


Figura 4. 8. Circuito esquemático para el funcionamiento de la turbina
Fuente: Chalá 2020

El ensamble del circuito se detalla a continuación:

- El potenciómetro (J2) va conectado al pin A1 del Arduino NANO y su otra terminal a tierra.
- Los pines D12 a D2 van conectados a una pantalla LCD por medio de los pines 1 al 6 y del D12 al D18.
- Del Arduino sale una señal al transistor de 5 voltios la cual es amplificada por el transistor a 15,5 voltios.
- En J4 se encuentran los pines de salida que van conectados al motor
- Del Arduino NANO salen dos pines que hacen la función de interruptor que van conectados al pedal
- J9 es la fuente de poder de donde salen 24 voltios a los pines J5 y J7
- El pin J5 se une al pin J6
- El pin J7 se une al pin J8, ambos pertenecen al reductor de voltaje LM2596
- Del reductor de voltaje salen 5 voltios los cuales van al Arduino NANO

Para el diseño de la placa se usó el programa Proteus emitiendo una impresión que será usada en la baquelita. La Figura 4.9. es el circuito diseñado para imprimir.

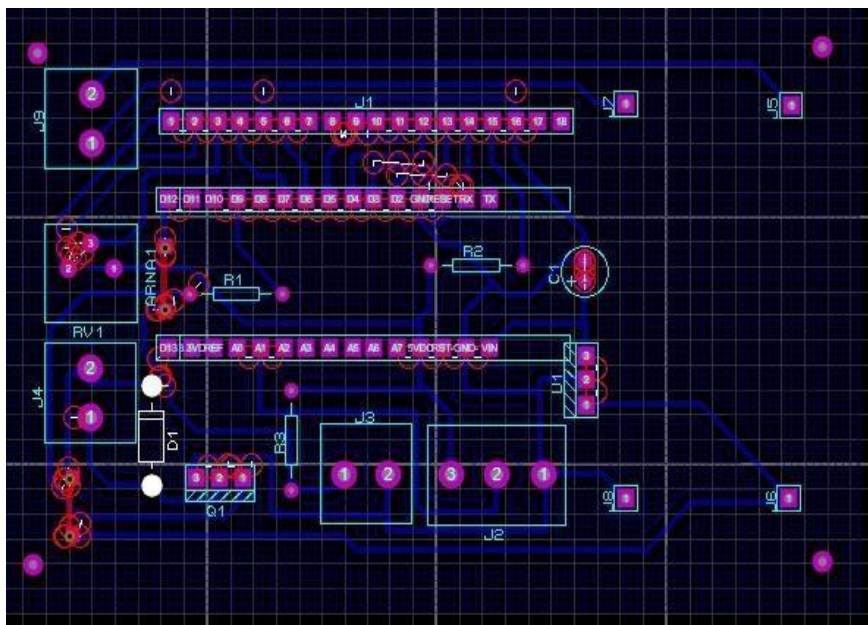


Figura 4.9 Circuito a imprimir realizado en Proteus.
Fuente: Chalá, 2020

- Una vez que se genera el circuito en el programa Proteus se imprime el diseño en una impresora láser.
- La impresión en papel se traspa a la baquelita mediante transferencia de calor.
- Se sumerge la placa en ácido férrico y se deja por espacio de 20 minutos.
- Transcurridos los 20 minutos se retira la baquelita del ácido férrico y se limpia con alcohol, secándola posteriormente.
- Se procede a hacer las respectivas perforaciones para la implantación de los diferentes componentes.
- Para instalar la placa a la maquina se usó separadores de plástico entre la placa de aluminio que sostiene el circuito y el propio circuito para evitar posibles cortocircuitos.

El *case* originalmente se hizo en una cubierta de madera, sin embargo, al evaluarla en cuanto a resistencia y seguridad se optó por no usarla. De allí se recurrió a un case hecho con fibra de vidrio, como se ve en la Figura 4.10, debido a que se cuenta con talleres y materia para la producción, valorando además su capacidad de resistencia a daños físicos y calor.



Figura 4. 10. Case de la máquina de extracción folicular, vista frontal y posterior
Fuente: Chalá, 2020

4.2. Ensamble de las piezas

1. De la bomba de vacío sale una manguera que se conecta a un frasco especialmente diseñado para soportar la presión del vacío o presión negativa
2. Del frasco con solución salina sale otra manguera de diámetro más pequeño que se conecta a la parte superior donde se encuentra el bisturí circular que a su vez está conectado a la turbina.
3. La bomba de vacío tipo diafragma marca Thomas, misma que se observa en la Figura 4.11, se colocó en la parte baja del *case*, la función de esta es generar el vacío, también en la parte superior se instaló un circuito que se encarga del funcionamiento de la turbina

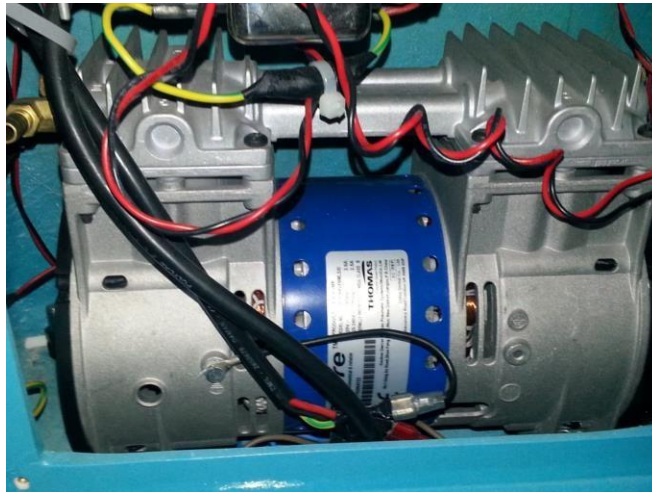


Figura 4. 11. Bomba de vacío marca Thomas usada en la máquina de extracción folicular
Fuente: Chalá, 2020

4. De la fuente de poder sale una conexión que activa dos ventiladores uno de expulsión y otro de absorción

4.3. Funcionamiento del equipo en general

En la Figura 4. 12, se observa la máquina de extracción capilar armada, para esto se procede de la siguiente manera: Se conecta la máquina a una salida de 120 voltios o 240 voltios, se activan dos switches o interruptores, uno activa la bomba de vacío y el otro la turbina. Al estar funcionando la turbina se procede a regular las revoluciones de la misma según el médico crea conveniente.

Se procede entonces a insertar la punta del bisturí circular en el cuero cabelludo del paciente, una vez inserto por efecto de la presión negativa de la bomba de vacío se extrae el folículo el cual es llevado por medio de una manguera al frasco con solución salina para una posterior reimplantación del mismo.



Figura 4. 12. Máquina de extracción capilar armada Fuente: Chalá, 2020

4.4. Tamaño de la muestra.

Para determinar el correcto funcionamiento del equipo se tomarán varias muestras para determinar la porción de los errores que puede cometer la máquina en cuanto a folículos mal instalados y verificados por un especialista.

Luego se realizará un control estadístico de calidad con un diagrama de control de atributos.

Determinación del tamaño adecuado de las muestras:

Se va a determinar la proporción de defectos producidos en la instalación de folículos.

Se usará la forma la estimar p con un tamaño poblacional infinito (o muy grande), ya que se desconoce el tamaño de la población.

$$n = p * (1 - p) \left(\frac{Z}{E}\right)^2$$

En esta fórmula se requiere el valor de p . Sin embargo, p es el parámetro que se desea estimar y es desconocido. Se puede tomar un valor de $p=0.5$, este valor es muy seguro o conservador, garantizará el tamaño muestral más grande posible, dado cualquier nivel de confianza y errores deseados. Este hecho resulta ya que el factor $p*(1-p)$ se maximiza cuando $p=0.5$, esto se demuestra derivando la expresión $f(p) = p^2-p$ e igualando a cero se obtiene un valor de $p=0.5$ que maximiza la expresión, no existe valor distinto de 0.5 que pueda asignarse a p que haga más grande $p*(1-p)$, entonces $p*(1-p) = 0.25$. Todo valor distinto a 0.5 resultará en $p*(1-p) < 0.25$. Por tanto, n sería más pequeño.

Se utilizará un nivel de confianza del 90% y un error del 10%, para calcular el tamaño de la muestra, como se ve en la Figura 4.13.

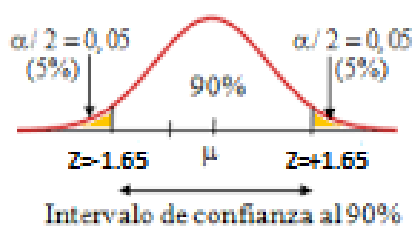


Figura 4.13. Intervalo de confianza. Fuente: Chalá 2020

Para un 90% de confianza tenemos $Z = 1.65$

$$n = 0.5 * (1 - 0.5) \left(\frac{1.65}{0.10}\right)^2$$

$$n = 0.25 * 272.25$$

$$n = 68$$

La muestra debe tener un tamaño de 68 folículos para estimar p con un error del 10% y un nivel de confianza de 90%.

Cartas de control

Estas se utilizan para controlar o vigilar la calidad de un producto en proceso. Permite observar de cerca toda variación en el proceso, y alerte al fabricante respecto a cambios en la naturaleza del producto.

Existen cartas para la media y la dispersión, estas son las cartas tipo \bar{X} para medir la variación de las medias muestrales. La carta R vigila los cambios en la media. Y las cartas de control para atributos.

Cartas de control de atributos

Este procedimiento estadístico determina si un proceso es aceptable con base en la proporción y el número de defectos. Cualquier característica de calidad que pueda ser clasificada como: “cumple o no cumple”, “funciona o no funciona”, esto es considerado como un atributo.

Cartas p

En la construcción de las cartas p simplemente se toma nota de la proporción de artículos defectuosos en una muestra. Esta proporción, p es:

$$p = \frac{\text{Número de defectos en una muestra}}{\text{Tamaño de la muestra}}$$

Al recolectar los datos para un estudio de control de calidad, es común tomar una serie de muestras a través del tiempo durante el proceso de producción. Se sugiere que el número de muestras recolectadas, k , debería ser de por lo menos 20.

Se van a tomar 20 muestras cada uno de tamaño 68, como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Numero de muestras recolectadas.

| Muestra | Numero de defectos | p |
|---------|--------------------|--------|
| 1 | 1 | 0,0147 |
| 2 | 0 | 0,0000 |
| 3 | 0 | 0,0000 |
| 4 | 0 | 0,0000 |
| 5 | 4 | 0,0588 |
| 6 | 5 | 0,0735 |
| 7 | 6 | 0,0882 |

Fuente: Chalá (2020)

Tabla 4.1. Numero de muestras recolectadas.

| | | |
|--------------|-----------|--------|
| 8 | 7 | 0,1029 |
| 9 | 8 | 0,1176 |
| 10 | 4 | 0,0588 |
| 11 | 0 | 0,0000 |
| 12 | 0 | 0,0000 |
| 13 | 1 | 0,0147 |
| 14 | 2 | 0,0294 |
| 15 | 0 | 0,0000 |
| 16 | 4 | 0,0588 |
| 17 | 0 | 0,0000 |
| 18 | 7 | 0,1029 |
| 19 | 6 | 0,0882 |
| 20 | 6 | 0,0882 |
| Total | 61 | |

Fuente: Chalá (2020)

Se seleccionó $k = 20$ muestras diferentes de tamaño $n=68$ que calculamos anteriormente.

Se inspecciona un total de $(20) (68) = 1360$ folículos.

Cabe notar que las muestras 8, 9 y 18 se encuentran en el límite, es decir un poco más arriba del 10% de error permitido, Se verá a continuación si el proceso se encuentra bajo control.

$$\bar{p} = \frac{61}{1360}$$

$$\bar{p} = 0.04485$$

$$LSC_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$$

$$LSC_p = 0.04485 + 3 \sqrt{\frac{0.04485(1 - 0.4485)}{68}}$$

$$LSC_p = 0.12015$$

$$LIC_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$$

$$LSC_p = 0.04485 + 3 \sqrt{\frac{0.04485(1 - 0.4485)}{68}}$$

$$LIC_p = -0.030 = 0$$

Como se ve en la Figura 4.18 la variación aleatoria ocurre.



Figura 4.14. Gráfico variación aleatoria. Fuente: Chalá 2020

Como se vio en la Figura 4.14 la variación aleatoria ocurre, es decir siempre se tendrán valores diferentes en cada muestra. Sin embargo, el proceso se encuentra dentro de control, se puede decir que la máquina extractora de folículos pasa el control de calidad con un 10 % de error y una significancia del 90%.

4.5. Prueba de validación de resultados en gel balístico, llevadas a cabo por una médica, en el Centro de trasplante capilar Scatter

La realización de la prueba de la máquina fue llevada a cabo en el centro de trasplante capilar Scatter, el procedimiento de extracción de los folículos se hizo en gel balístico.

Los especialistas hicieron uso de la máquina de extracción capilar siguiendo los pasos que fueron explicados por el investigador. Se presenta el registro fotográfico de la prueba efectuada:

En la Figura 4.15 se observa la especialista preparándose para iniciar la extracción capilar, también se puede detallar el bisturí, el gel balístico y el recipiente con solución salina para la conservación de los folículos.



Figura 4. 15. Preparación de la especialista para el uso de la máquina de extracción folicular
Fuente: Chalá, 2020

En la Figura 4.16. La especialista realiza la extracción del folículo imitación del gel balístico.



Figura 4. 16. Uso del micro bisturí para la extracción del folículo en el gel balístico. Fuente: Chalá, 2020

La Figura 4.17 muestra el gel balístico con los folículos y el bisturí para hacer la extracción folicular.

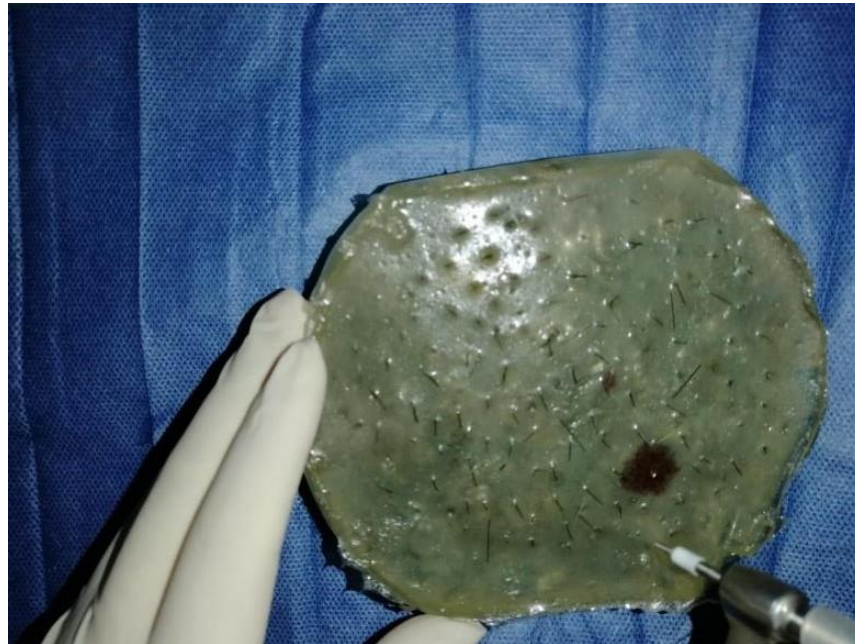


Figura 4. 17. Detalle de la extracción del folículo en el gel balístico
Fuente: Chalá, 2020

Finalmente, en la Figura 4.18 se observa la colocación del folículo en solución salina para su conservación.



Figura 4. 18. Solución salina para conservación de folículo
Fuente: Chalá, 2020

CONCLUSIONES

1. Para el diseño del modelo electrónico y mecánico, así como el ensamblaje de dichos componentes de dicha máquina, después de varios intentos de diseño del circuito con circuitos integrados, se concluye hacer uso de componentes sencillos y fáciles de encontrar tales como: arduino, BJT, resistencias que no sean del tipo SMD.
2. Se concluye que es menester probar el funcionamiento de los componentes electrónicos y mecánicos por separado y afuera del case, así como, el uso de una bomba de vacío de buena calidad y que sea específicamente para finalidades médicas.
3. En la etapa de implementación de los componentes electrónicos y mecánicos se concluye que es mucho más factible diseñar un case de fibra de vidrio, ya que es muy común el uso de éste material en el medio, se concluye también que es importante usar un material aislante para el case, esto porque la bomba de vacío genera calor y la misma cuenta con un capacitor de más de 500v, mismo que la hace arrancar, lo cual implica un alto riesgo eléctrico.
4. Para la fase de realización de pruebas de validación de resultados en gel balístico, se concluye que es necesario hacer varios geles balísticos con diferente largos y direcciones de los folículos de imitación.

Se concluye también que:

- Desde el punto de vista económico la máquina de extracción folicular tiene una inversión menor de un 60% con respecto a máquinas producidas con un nivel mayor de tecnología por empresas que dominan en el mercado, sin embargo, la maquina diseñada y construida cumple los mismos requerimientos técnicos que amerita la técnica FUE por lo tanto es viable y factible para escalar como proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Para el diseño del modelo electrónico y mecánico, así como el ensamblaje de dichos componentes de dicha máquina se recomienda hacer uso de componentes sencillos y fáciles de encontrar tales como: arduino, BJT, resistencias que no sean del tipo SMD, para el diseño del circuito, se recomienda el uso del software Proteus, así como, tener especial cuidado a la hora de elegir una bomba de vacío ya que son pocas y muy costosas las que sirven para este propósito.
2. Para articular los componentes electrónicos y mecánicos se recomienda probar primero la funcionalidad de los mismos afuera del case, así como, tener especial cuidado con la asignación de voltaje a la bomba de vacío y al circuito electrónico.
3. En la etapa de implementación de los componentes electrónicos y mecánicos para su posterior uso y funcionamiento se recomienda diseñar un case de fibra de vidrio, o de algún otro material que no sea combustible, y que sea además aislante, esto porque la bomba de vacío genera calor y la misma cuenta con un capacitor de más de 500v, mismo que la hace arrancar, lo cual implica un alto riesgo eléctrico.
4. Para la fase de realización de pruebas de validación de resultados en gel balístico, se recomienda hacer varios geles balísticos con diferente largos y direcciones de los folículos de imitación, se recomienda también pedir un certificado de validación de resultados al centro o clínica elegidos.

Se recomienda también que:

- Para la producción de la máquina de extracción capilar a escala comercial es necesario usar una bomba de vacío de mayor capacidad además de contar con un financiamiento inicial para su desarrollo.
- La Universidad Tecnológica Israel cree una feria tecnológica donde los estudiantes expongan sus proyectos ante entes del Estado y la empresa privada que potencialmente pueden interesarse en apoyar el escalamiento de los proyectos que se diseñan e implementan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arduino cl. (2020). Obtenido de <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Berstein Medical. (2020). Obtenido de <https://www.bernsteinmedical.com/hair-transplant/fue/>
- Berstein Medical. (2020). *Máquina de trasplante de cabello NeoGraft para FUE*. Recuperado el 24 de enero de 2020, de <https://www.bernsteinmedical.com/hair-transplant/fue/devices/neograft/>
- Estetica Medica Info. (2014). Obtenido de <http://www.esteticamedica.info/noticias/val/425-36/nuevo-micromotor-lombar-fue-para-transplante-capilar.html>
- Hidalgo, W. (2015). *Diseño e Implementación de un Sistema de Adquisición de señales biométricas mediante mensajes sms*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado el febrero de 2020, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3790/1/98T00060.pdf>
- IMEX. (2020). *La revolución del trasplante capilar*. Obtenido de <https://www.imex.es/la-revolucion-del-trasplante-capilar-sin-cicatrices-y-con-vision-previa-3d/>
- Impladerm. (2020). *Equipamiento para trasplante capilar*. Obtenido de <https://www.impladerm.com/el-equipamiento/>
- Ingeniería Mecafenix. (17 de abril de 2017). *Acerca de nosotros: Ingeniería Mecafenix*. Obtenido de Ingeniería Mecafenix la enciclopedia de la ingeniería Web site: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/potenciometro/>
- Loly, A. (2014). *El Proyecto Factible como Modalidad en la Investigación Educativa*. UPEL.
- López, E. (2014). *Trasplante de pelo*. Retrieved from *Clínica Imema*. Recuperado el 24 de enero de 2020, de <https://www.imema.es/trasplante-pelo/tecnica-tira-microtrasplante-folicular>
- Ortega, L. (2015). *Ventajas de la Técnica de la Tira de Cuero Cabelludo en el tratamiento de Alopecia Androgénica en el sexo masculino período 2014-2015 en un centro privado de trasplante en la ciudad de Guayaquil*. Universidad de Especialidades "Espíritu Santo". Recuperado el 25 de enero de 2020, de

<http://201.159.223.2/bitstream/123456789/1359/1/TESIS%20JUAN%20CARLOS%20DELGADO.pdf>

- Rashid, R., & Morgan, L. (2012). Automatización de trasplante capilar de extracción de unidades foliculares: opciones para superar los desafíos de la última tecnología en restauración capilar con el objetivo de evitar la cicatriz en la línea. *Dermatology Online Journal*. Recuperado el 24 de enero de 2020, de <https://escholarship.org/uc/item/0x57s71r>
- Rev Cero Grados Celsius. (2014). *Bomba de vacío*. Obtenido de <https://0grados.com.mx/bomba-de-vacio/>
- Salas, L., Baeman, D., & Guinzburg, D. (2011). Extracción de unidades foliculares: nueva técnica en el transplante de pelo. *DermatologíaCMQ*, 9(2), 142-148. Recuperado el 24 de enero de 2020, de <https://www.medigraphic.com/pdfs/cosmetica/dcm-2011/dcm112j.pdf>
- Sanchez, H., Reyes, C., & Mejía, K. (2018). *Manual de Términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Universidad Ricardo Palma. Recuperado el 30 de enero de 2020, de [repositorio.urp.edu.pe > bitstream > handle > URP > libro-manual](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/libro-manual)
- Sanchez, I. (2014). *El robot Artas, para el trasplante de pelo*. Recuperado el 20 de enero de 2020, de <http://www.rfi.fr/es/ciencia/20141212-el-robot-artas-para-el-trasplante-de-pelo>
- TeraTorr Technologies. (2020). *Tipos de Bombas de Vacío más comunes*. Recuperado el febrero de 2020, de <https://www.teratorr.com/11-tipos-de-bombas-de-vacio/>
- Texas Instruments Co. (13 de febrero de 2020). *Acerca de nosotros: Texas Instruments Co.* Obtenido de LM2596 SIMPLE SWITCHER Web site: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>
- Uebel, C., Escobar, P., & Silveira, J. (2013). Megassessões de Unidades Foliculares e fatores de crescimento plaquetário. *Rev. Bras. Cir. Plást*, 28(1), 30-35. Recuperado el 20 de enero de 2020
- Universidad del País Vasco. (2015). *Bomba de vacío*. Recuperado el febrero de 2020, de <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/bombavacio.htm>
- U.S Food and drug administration. (7 de Julio de 2019). *Acerca de nosotros: F.D.A.* Obtenido de F.D.A Web site: <https://www.fda.gov/medical-devices/classify-your-medical-device/class-i-ii-exemptions>

ANEXOS

SCATTER

Quito, 17 de febrero del 2020.

CARTA DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS

MAQUINA EXTRACTORA DE FOLÍCULOS PILOSOS.

Yo, Marial Laura Bermúdez Uzcatogu con C.I 1757770118 representante técnico del Consultorio ambulatorio de especialidades clínico quirúrgicas Scatter, después de haber testado la máquina extractora de folículos en gel balístico, en el centro arriba mencionado, puedo concluir que la mencionada máquina desarrollada por el Sr. Israel Daniel Chalá Sánchez con C.I: 171825086-1, ha cumplido satisfactoriamente con los objetivos planteados en cuanto a su funcionamiento, puedo concluir también que ha satisfecho mis expectativas en cuanto a la rapidez y versatilidad en su funcionamiento, Se ha observado también que su funcionamiento y rendimiento podría mejorar si la fuerza de succión fuese más potente, esto es todo lo que puedo expresar en cuanto a la máquina arriba mencionada.

Atentamente


Dra. Maria Laura Bermúdez U.
ESPECIALISTA EN CIRUGÍA GENERAL
CIRUGÍA PLÁSTICA ESTÉTICA RECONSTRUCTIVA
Y MAXILOFACIAL
M.S.P.: 079368489

Especificaciones Técnicas

- *Equipo: Máquina extractora de folículos pilosos.*
- *Destreza quirúrgica: Extracción de unidades foliculares (F.U.E)*

I. Teoría de operación

Se trata de un sistema de trasplante capilar diseñado para la técnica quirúrgica de extracción de unidades foliculares (F.U.E).

Los folículos se extraen del área donante utilizando una herramienta de recolección motorizada asistida por succión.

Los folículos extraídos se recogen en un recipiente.

Luego, los folículos se cargan en el implantador con la ayuda de succión, posteriormente los folículos cargados se implantan en el área del receptor con la ayuda del empujador controlado por el usuario hasta la profundidad deseada.

Clasificación reglamentaria: *FDA Clase II

* La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA o Agencia) está anunciando una lista de **dispositivos de clase II** que la Agencia ha determinado en función de factores establecidos para que ya no requieran notificación previa a la comercialización para proporcionar una seguridad razonable de seguridad y efectividad, sujeto a ciertas limitaciones (U.S Food and drug administration, 2019).

II. Tipología del producto:

Dimensiones generales:

(ancho x alto x profundidad): 27 cm x 45cm x 50 cm

Peso: 20 kg (aprox.)

Dos juegos de instrumentos de recolección e implantación funcionan en línea

Recolección de folículos asistida por motor, succión asistida

Tubos desechables y recipiente de recogida de folículos

Control de pie

Requisito eléctrico: 120 V AC - 230 V AC

Potencia del motor (bomba de vacío 300W)

III. Instrumentos.

Turbina suiza con recipiente CBS

VENTAJAS:



Fijación de contra-ángulo al micro motor

Se pueden unir punzones afilados y romos

Tres tamaños de punzón, 0.6 mm, 0.8 mm y 1.0 mm.

Punzón recubierto con Ti para retención de la nitidez.

Velocidad de rotación ajustable (0 rpm. 1600 rpm)

Dos tipos de contra-ángulos: 1: 1 y 16: 1

Tuberías rechazables:

- 2 juegos de tubos (mangueras de laboratorio) desechables
- Bandeja de carga de folículos: el contenedor de carga de folículos mejora el manejo y la carga de los folículos en el implante.

IV. Características sobresalientes

Sistema independiente Plug & Play con bomba de vacío incorporada

El interruptor de pie proporciona movimientos sin complicaciones.

Punzones, implantes y tubos estériles reducen las infecciones postoperatorias y garantizan la tranquilidad.

Quick-fit Connections reduce el tiempo de respuesta para la próxima cirugía.

MANUAL DE USUARIO

¿PARA QUÉ?

Esta máquina extractora de folículos es un novedoso equipo médico para trasplante capilar, mismo que facilita el procedimiento haciéndolo más eficiente. Automatiza la extracción de unidades foliculares por medio de un sistema de succión. El sistema permite incrementar significativamente el número de folículos que pueden trasplantarse en un solo día, con una media de más de 1200 folículos por sesión.

¿A QUIÉN?

Está indicado tanto para hombres como mujeres en trasplantes capilares de cualquier área corporal y facial. Puede emplearse en prácticamente el 100% de los candidatos a trasplante, incluyendo pacientes afroamericanos o con pelo grisáceo, en los que la extracción es más difícil con la técnica manual convencional; o incluso en casos de difícil tratamiento, como áreas con cicatrices postraumáticas

¿Cómo?

Este sistema facilita la extracción, recolección, limpieza y reimplantación de cada uno de los. La extracción de cada unidad folicular se realiza mediante un micro punch de menos de 1 mm, lo que garantiza la ausencia de cicatrices en el paciente. El sistema de succión utilizado en la extracción permite la mínima incisión en el paciente, a la vez que recolecta y almacena los folículos sin necesidad de ninguna intervención manual, consiguiendo que prácticamente el 100% estén en perfecto estado para ser posteriormente reimplantados.

¿Qué consigo?

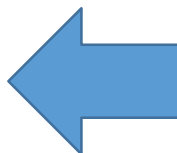
1. Una experiencia agradable y cómoda, reduciéndose a la mitad el tiempo de la cirugía y requiriendo tan solo una anestesia local en la zona.
2. Menos tiempo de recuperación.
3. Mínima manipulación manual de los folículos en todo el proceso, que permite una más rápida regeneración del folículo implantado.
4. Mejor cicatrización.

I. IDENTIFICACIÓN DE LAS PARTES



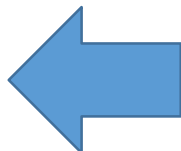
Cable trifásico

Figura 1. Cable trifásico. Fuente: Chalá 2020



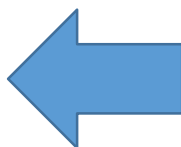
TURBINA

Figura 2. Turbina. Fuente: Chalá 2020



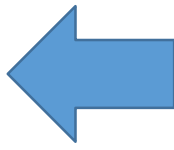
Plug (turbina y pedal)

Figura 3. Plug turbina y pedal. Fuente: Chalá 2020



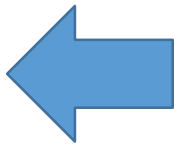
Switch tipo pedal

Figura 4. Switch tipo pedal. Fuente: Chalá 2020



Manguera de laboratorio

Figura 5. Manguera de laboratorio. Fuente: Chalá 2020



Manguera de presión

Figura 6. Manguera de presión. Fuente: Chalá 2020



Regulador de la velocidad de giro de la turbina (potenciómetro).



Plug turbina

Figura 7. Plug turbina y potenciómetro. Fuente: Chalá 2020

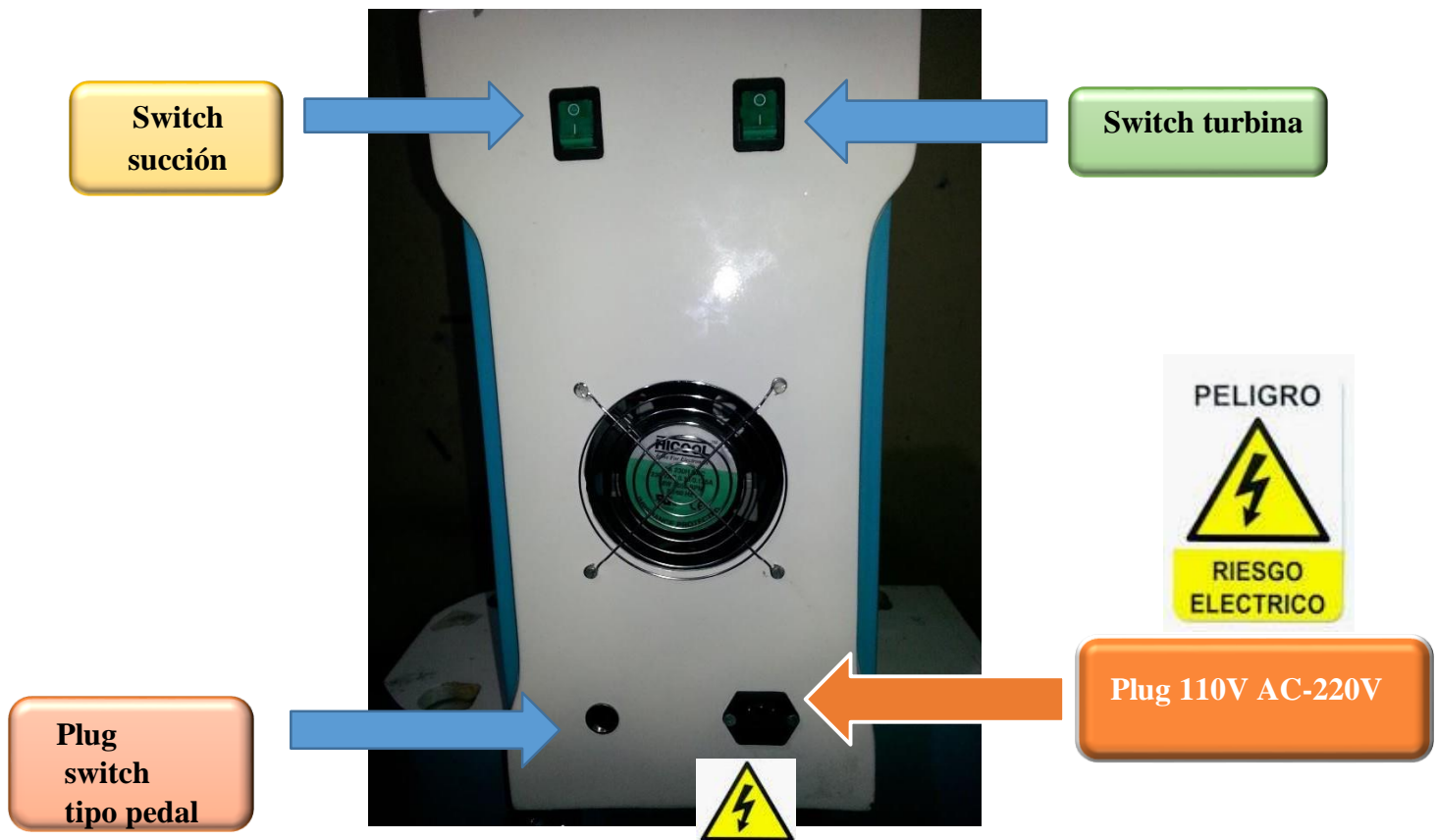


Figura 8. Parte posterior de la máquina. Fuente: Chalá 2020

II. PASOS PARA LA INSTALACIÓN

- Conectar el cable trifásico en la entrada para este, como se ve en la Figura 9, localizado en la parte posterior de la máquina.



Figura 9. Cable trifásico enchufado. Fuente: Chalá 2020

- Conectar switch tipo pedal en la parte posterior de la máquina, como se observa en la Figura 10.



Figura 10. switch tipo pedal conectado. Fuente: Chalá 2020

- Conectar la turbina en el plug de la parte frontal de la máquina, como se observa en la Figura 11.



Figura 11. Turbina conectada. Fuente: Chalá 2020.

- Conectar un extremo de la manguera de presión en la salida de la bomba de vacío (succión), y el otro extremo en el frasco de almacenamiento, previamente medio llenado con solución salina, como se ve en la Figura 12.



Figura 12. Conexión manguera de presión. Fuente: Chalá 2020

- Conectar un extremo de la manguera de laboratorio en el frasco de almacenamiento de los folículos, previamente medio llenado con solución salina, y el otro extremo de la misma en la parte superior de la turbina, tal como se observa en la Figura 13.



Figura 13. Conexión manguera de laboratorio. Fuente: Chalá 2020

Una vez finalizados los pasos arriba descritos, siga las siguientes instrucciones:

- Activar los switches para el control de la turbina, así como, de la succión.
- Regular la potencia de giro de la turbina girando la perilla (potenciómetro) localizado en la parte frontal de la máquina al nivel deseado.
- Presionar el switch tipo pedal para activar o desactivar el funcionamiento de la turbina.

Una vez armada la máquina, puede extraer unidades foliculares del área donante a través del sistema basado en succión, para esto:

- Coloque solución salina (hasta la mitad) en el frasco contenedor de folículos.
- Encienda el sistema de succión y de turbina (Switches color verde colocados en la parte posterior de esta)
- Accione la turbina, con el switch tipo pedal.
- Regule la velocidad de giro de la turbina según lo desee, girando la perilla de control de velocidad (ubicada en la parte frontal esta máquina).
- Coloque el bisturí circular en un ángulo recto con respecto a la salida del folículo.
- Atraviese el cuero cabelludo para la extracción del folículo, según se describe en el paso anterior.
- En caso de obstrucción en la manguera de succión, sumergir la punta del bisturí circular en la solución salina para destapar (por medio de la succión).
- En caso de obstrucción continua y sistemática, cambie el bisturí circular por uno de mayor diámetro.

La máquina está equipada con un conjunto doble de herramientas de recolección (Harvester) para permitir a los profesionales reducir el tiempo de tratamiento.

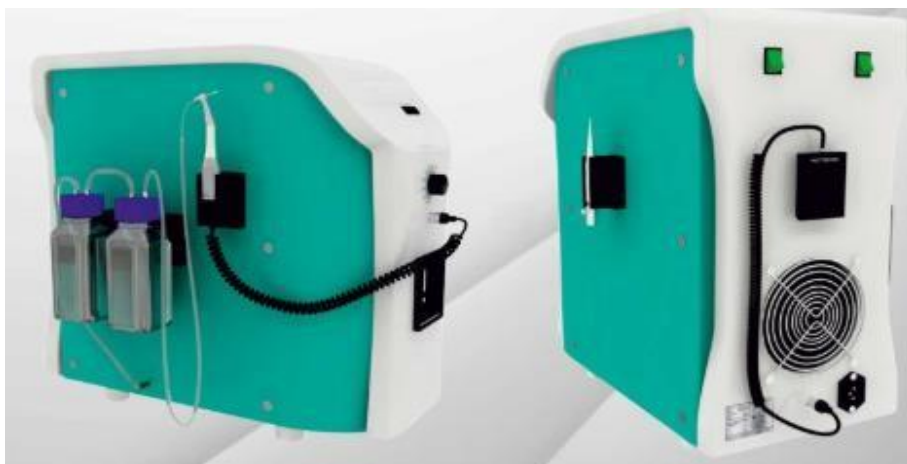
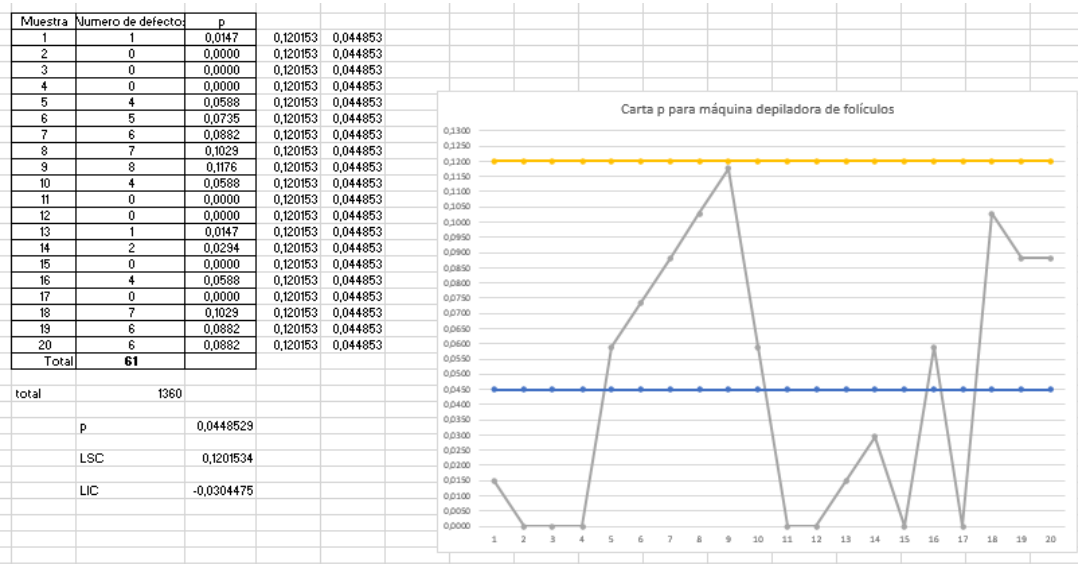
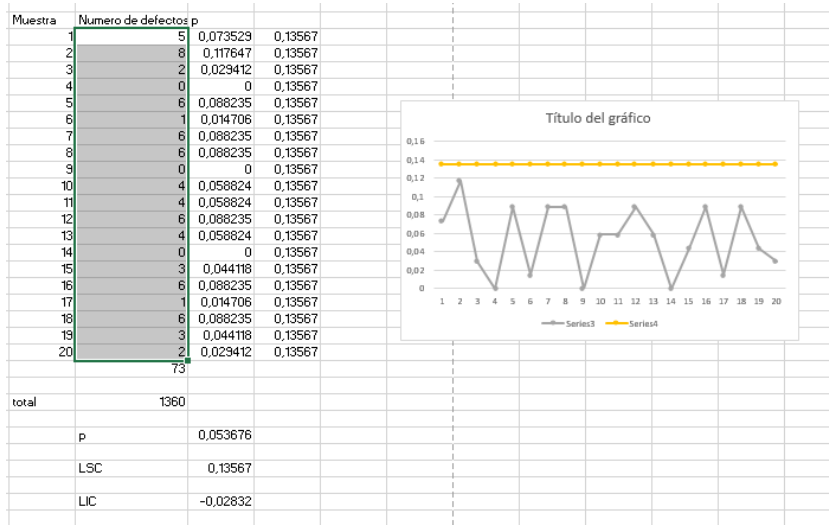


Figura 14. Máquina extractora de folículos pilosos armada. Fuente: Chalá 2020.

PRECAUCION

- Mantener lejos del alcance de los niños.
- No derramar líquidos sobre los componentes y partes de la máquina arriba descritos.
- Esterilizar las puntas de perforación de la turbina (bisturí circular), así como, el contenedor o frasco de almacenamiento de los folículos pilosos antes y después de cada cirugía.
- No golpear los componentes y partes de la máquina.
- Desechar las mangueras de laboratorio en el lugar de desechos médicos e infecciosos (contenedor de basura y funda roja), después de cada cirugía.

Screenshots Muestras Excel.



| Muestra | Numero de defectos |
|---------|--------------------|
| 1 | 8 |
| 2 | 6 |
| 3 | 0 |
| 4 | 1 |
| 5 | 5 |
| 6 | 3 |
| 7 | 4 |
| 8 | 2 |
| 9 | 7 |
| 10 | 2 |
| 11 | 2 |
| 12 | 0 |
| 13 | 2 |
| 14 | 2 |
| 15 | 0 |
| 16 | 4 |
| 17 | 0 |
| 18 | 7 |
| 19 | 6 |
| 20 | 6 |

| Muestra | Numero de defectos | p | | |
|---------|--------------------|--------|----------|----------|
| 1 | 1 | 0,0147 | 0,120153 | 0,044853 |
| 2 | 0 | 0,0000 | 0,120153 | 0,044853 |
| 3 | 0 | 0,0000 | 0,120153 | 0,044853 |
| 4 | 0 | 0,0000 | 0,120153 | 0,044853 |
| 5 | 4 | 0,0588 | 0,120153 | 0,044853 |
| 6 | 5 | 0,0735 | 0,120153 | 0,044853 |
| 7 | 6 | 0,0882 | 0,120153 | 0,044853 |
| 8 | 7 | 0,1029 | 0,120153 | 0,044853 |
| 9 | 8 | 0,1176 | 0,120153 | 0,044853 |
| 10 | 4 | 0,0588 | 0,120153 | 0,044853 |
| 11 | 0 | 0,0000 | 0,120153 | 0,044853 |
| 12 | 0 | 0,0000 | 0,120153 | 0,044853 |
| 13 | 1 | 0,0147 | 0,120153 | 0,044853 |
| 14 | 2 | 0,0294 | 0,120153 | 0,044853 |
| 15 | 0 | 0,0000 | 0,120153 | 0,044853 |
| 16 | 4 | 0,0588 | 0,120153 | 0,044853 |
| 17 | 0 | 0,0000 | 0,120153 | 0,044853 |
| 18 | 7 | 0,1029 | 0,120153 | 0,044853 |
| 19 | 6 | 0,0882 | 0,120153 | 0,044853 |
| 20 | 6 | 0,0882 | 0,120153 | 0,044853 |
| Total | 61 | | | |

| | |
|-------|------------|
| total | 1360 |
| p | 0,0448529 |
| LSC | 0,1201534 |
| LIC | -0,0304475 |

