



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Instrumentación y  
Control Automático

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE LAVADO Y SECADO DE ROPA POR  
ULTRASONIDO PARA MABE TyP**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias en Instrumentación y Control Automático

Presenta:

**Ing. Chayanne García Valdez**

Dirigido por:

**Dr. Gerardo Israel Pérez Soto**

Co-dirigido por:

**M.C. Luis Ballesteros Martínez**

Centro Universitario, Querétaro, QRO en el mes de Octubre del año 2021  
México.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Instrumentación y  
Control Automático

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE LAVADO Y SECADO DE ROPA POR  
ULTRASONIDO PARA MABE TyP**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias en Instrumentación y Control Automático

Presenta:

**Ing. Chayanne García Valdez**

Dirigido por:

**Dr. Gerardo Israel Pérez Soto**

Co-dirigido por:

**M.C. Luis Ballesteros Martínez**

SINODALES

Dr. Gerardo Israel Pérez Soto  
Presidente

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz  
Secretario

Dr. Jesús Rooney Rivera Guillén  
Vocal

M.C. Luis Ballesteros Martínez  
Suplente

Dr. José Luis Gonzáles Córdoba  
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, QRO  
Fecha de aprobación por el Consejo Universitario  
Octubre 2021  
México.

© 2021 - Ing. Chayanne García Valdez

Todos los derechos reservados.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

*Esta tesis es dedicada a mis padres Carlos García León y Maria Guadalupe Valdez Campos, que a pesar de ya no estar conmigo sigo esforzandome para seguir avanzando, a mi hermano Exxon García Valdez, los quiero mucho.*

Dirección General de Bibliotecas UAQ

# Agradecimientos

- Primeramente quiero agradecer a Dios por darme salud y bienestar para continuar avanzando profesionalmente, agradezco a mis padres que aunque no se encuentre ya conmigo los llevo en mi pensamiento siempre, a mi hermano por apoyarme a seguir creciendo profesionalmente gracias por que ellos dieron el cimiento de mis estudios para poder lograr este próximo paso, agradezco a todos mis familiares que me apoyaron dándome sus ánimos.
- Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme becado durante mis estudios de maestría.
- Un gran agradecimiento por mis profesores que siempre estuvieron para ayudarme con dudas escolares, de tesis o incluso compartir un par de risas, agradezco a todos esos nuevos amigos y compañeros que me encontré durante este viaje llamado maestría a todos ellos con los que reímos, lloramos, compartimos angustias y consejos palabras de aliento en especial a todos aquellos que cuando dudaba de mí mismo ellos me volvían a animar y decían que creen en mí muchas gracias enserio sus palabras me fueron de gran ayuda para levantarme cada vez que caía. Un saludo para aquellos que alguna vez nos topamos por los pasillos e intercambiábamos un saludo que animaba el día, con quienes se prestaban material en esos finales de semestres en donde todos nos volvíamos amigos para salvar el semestre.
- A mi asesor el Dr. Gerardo Israel Pérez Soto, al Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz y a Luis Ballesteros Hernández que me apoyaron para que la formación dual se lograra y resolviendo, aportar ideas, por consejos de mejora, por ser mis mentores para mi desarrollo tanto académico como profesional.
- A Mabe TyP por facilitar sus laboratorios para la elaboración de las pruebas realizadas en este trabajo. Así mismo a la Universidad Autónoma de Querétaro por las instalaciones y material prestados para la elaboración de proyectos.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

# Resumen

El presente trabajo fue realizado en colaboración de la Universidad Autónoma de Querétaro y Mabe TyP. Se trabajó la tecnología del ultrasonido para ser usada en el lavado y secado de ropa. Para validar dicha tecnología, se realizaron procesos de secado con los que se obtuvieron gráficas de secado por ultrasonido. Para la obtención de las gráficas antes mencionadas, se emplearon arreglos de compuertas lógicas programables en sitio (FPGA), logrando una modulación de frecuencia con dicha tarjeta electrónica. Para activar los transductores piezoeléctricos y producir el efecto de secado por ultrasonido, se utilizó una frecuencia de resonancia a partir de programación del FPGA. Se usó un puente-H controlado por el FPGA para activar el transductor piezoeléctrico, así como circuitos comerciales. A través de la ingeniería inversa a dichos circuitos, se obtuvieron inversores resonantes clase E. Con los circuitos que activan los transductores piezoeléctricos también se obtienen las gráficas de secado por ultrasonido que se miden con el porcentaje del contenido de humedad residual (RMC). Así mismo, se llevó a cabo un proceso de lavado de ropa con una lavadora de ultrasonido portátil comercial. Con dicha lavadora por ultrasonido se evaluó la reducción de manchas en la ropa usando la escala de Likert. De la formación desarrollada para el presente trabajo se obtuvo un *review* titulado “Revisión de tecnologías para el lavado secado y desinfección de ropa” lo que contribuyó a crear seis nuevos conceptos de proyectos de los cuales se realizaron dos. El primero llamado *mini care*, dicho concepto se plantea en un Mínimo Producto Viable (MVP) de una secadora centrifuga de ropa que ofrece no solo un secado de ropa si no también una desinfección de la ropa, tema que tomó gran relevancia debido a la actual pandemia del SARS-CoV-II (COVID-19). El segundo concepto de proyecto desarrollado como MVP es el llamado *violet*, el cual, es un artículo desinfectante portátil que usa la tecnología de ultrasonido para expulsar líquido con desinfectante y aromatizante en forma de neblina fría, así como el proporcionar una desinfección utilizando la luz ultravioleta.

**Palabras claves:** ultrasonido, secado de ropa, puente-H, RMC, lavado de ropa, piezoeléctrico.

Dirección General de Bibliotecas UAQ



# Abstract

This work was carried out in collaboration with the Autonomous University of Querétaro and Mabe TyP. Ultrasound technology was worked to be used in washing and drying clothes. To validate ultrasound technology, drying processes were carried out with which ultrasound dried graphs were obtained. In order to obtain the graphs as mentioned earlier, A field-programmable gate array (FPGA) was used, achieving frequency modulation with an electronic card. A resonance frequency was used from FPGA programming to activate the piezoelectric transducers and produce the ultrasound drying effect. An H-bridge controlled by the FPGA was used to activate the piezoelectric transducer, as well as commercial circuits. Through reverse engineering to such circuits, resonant inverters were obtained class E. The circuits that activate the piezoelectric transducers also produce ultrasound drying graphs measured with the percentage of residual moisture content (RMC). A laundry process was also carried out with a commercial portable ultrasound machine. With this ultrasound washing machine, the reduction of stains on clothes was evaluated using the Likert scale. From the training developed for the present work, a review entitled “Review of technologies for the drying and disinfection of clothes” was obtained, which contributed to creating six new project concepts, two of which were carried out. The first is called minicare; this concept is proposed in a Minimum Viable Product (MVP) of a centrifugal dryer of clothes that offers not only a drying of clothes but also disinfection of clothes, a topic that took great relevance due to the current pandemic of SARS-CoV-II (COVID-19). The second project concept developed as MVP is called violet, which is a portable disinfectant article that uses ultrasound technology to expel liquid with disinfectant and flavoring in the form of cold mist and provide disinfection using ultraviolet light.

**Keywords:** ultrasound, clothes drying, H-bridge, RMC, laundry, piezoelectric.

# Índice general

Agradecimientos	
Resumen	I
Abstract	III
Índice	IV
Índice de figuras	VI
Indice de tablas	VIII
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	2
1.1.1. Antecedentes de lavadora de ropa . . . . .	2
1.1.2. Antecedentes de secado de ropa . . . . .	3
1.2. Justificación . . . . .	5
1.3. Descripción del problema . . . . .	6
1.4. Hipótesis . . . . .	6
1.5. Objetivos . . . . .	6
1.5.1. Objetivo general . . . . .	6
1.5.2. Objetivos específicos . . . . .	6
1.6. Metodología . . . . .	7
<b>2. Fundamentación teórica</b>	<b>9</b>
2.1. Ultrasonido . . . . .	9
2.2. Transductores de ultrasonido . . . . .	10
2.3. Secado por ultrasonido . . . . .	11
2.4. Inversores modulados por ancho de pulso . . . . .	12
2.5. Principio de operación del inversor de medio puente . . . . .	13
2.6. Inversor monofásico de puente completo . . . . .	13
2.7. Cavitación Acústica . . . . .	14
2.8. Limpieza por ultrasonido . . . . .	14
2.9. Humedad residual . . . . .	15
2.10. <i>First build</i> . . . . .	15

2.11. Escala de Likert . . . . .	16
2.12. Alfa de Cronbach . . . . .	16
2.13. Metodología <i>first build</i> Mabe . . . . .	17
2.14. Puente-H . . . . .	19
<b>3. Desarrollo de un sistema de lavado y secado de ropa por ultrasonido</b>	<b>22</b>
3.1. Proceso del lavado por ultrasonido . . . . .	22
3.2. Proceso de secado por ultrasonido . . . . .	24
3.2.1. Configuración del proceso . . . . .	24
3.2.2. Material y proceso de secado por ultrasonido . . . . .	25
3.2.3. Circuitos empleados . . . . .	28
3.3. Aporte en el Mínimo Producto Viable realizado en mabe . . . . .	30
3.3.1. Programación <i>mini care</i> . . . . .	31
3.3.2. Interfaz al usuario . . . . .	35
<b>4. Resultados</b>	<b>37</b>
4.1. Escala de Likert . . . . .	37
4.2. Resultados mabe . . . . .	39
4.2.1. Matriz de Pugh . . . . .	39
4.2.2. Prueba de productos comerciales . . . . .	41
4.2.3. Conceptos de <i>runny</i> obtenidos . . . . .	41
4.2.4. Simulaciones de <i>mini care</i> . . . . .	43
4.2.5. Dibujo en SolidWorks de la secadora por ultrasonido . . . . .	44
4.2.6. Simulación física de <i>mini care</i> . . . . .	45
4.2.7. <i>Mini care</i> versión 1 . . . . .	45
4.2.8. Pruebas a <i>mini care</i> versión 1 . . . . .	45
4.2.9. Secadora por ultrasonido . . . . .	46
4.2.10. Concepto <i>violet</i> . . . . .	47
4.2.11. Publicaciones y logros académicos . . . . .	49
4.2.12. <i>Mini care</i> versión 2 . . . . .	50
4.2.13. Interfaz para el usuario . . . . .	51
4.3. Trabajos futuros . . . . .	52
<b>5. Conclusión</b>	<b>54</b>
<b>Referencias</b>	<b>60</b>
<b>A. Anexo</b>	<b>61</b>
A.1. Programas VHDL . . . . .	71
A.2. Certificados y logros . . . . .	75
A.3. Tabla de componentes . . . . .	83

# Índice de figuras

1.1. Metodología. . . . .	7
2.1. Rangos en que trabajan algunas aplicaciones del ultrasonido (imagen modificada de Cheeke (2017)). . . . .	9
2.2. Principio de piezoeléctrico (Cracknell, 1982). . . . .	11
2.3. Fenómeno de secado de ropa por vibración de contacto directo (Momen et al., 2015). . . . .	11
2.4. Medio puente (Rashid, 2004). . . . .	13
2.5. Estructura del inversor monofásico en puente completo o puente-H, a) Generación del nivel de tensión $V_s$ , b) Generación del nivel de tensión $-V_s$ , c) Generación del nivel de tensión 0. (Llusca et al., 2014). . . . .	14
2.6. a) Vibración por ultrasonido $< 20 [kHz]$ b) generación de microburbujas c) Remoción de manchas (Gaitan & Crum, 1990). . . . .	14
2.7. Diagrama de metodología <i>first build</i> . . . . .	16
2.8. Ejemplo del puntuación de la escala de Likert (Bertram, 2007). . . . .	16
2.9. Metodología <i>first build</i> (propiedad de mabe). . . . .	20
2.10. Puertos de entrada y salida del puente-H modelo BTS7960. . . . .	21
3.1. Diagrama de flujo del lavado por ultrasonido. . . . .	23
3.2. Mediciones del recipiente. . . . .	24
3.3. Planteamiento de proceso de secado. . . . .	25
3.4. Modelo de activación de transductor utilizando el puente H. . . . .	26
3.5. Peso entre la muestra y el transductor piezoeléctrico. . . . .	26
3.6. Diagrama de flujo del secado por ultrasonido. . . . .	28
3.7. Diagrama de bloques del modulador de frecuencia. . . . .	29
3.8. Circuito comercial. . . . .	29
3.9. Tarjeta comercial para el piezoelectrico. . . . .	30
3.10. Circuito creado a partir del la ingenieria inversa. . . . .	30
3.11. Experimento de secado por ultrasonido. . . . .	31
3.12. Micropesa SartoriusCP324S (resolución de $0.1 [mg]$ ). . . . .	31
3.13. Diagrama de flujo de programación de <i>mini care</i> . . . . .	33
3.14. Continuación del diagrama de flujo de programación de <i>mini care</i> . . . . .	34
3.15. Diseño de propuesta de la interfaz para el usuario del <i>mini care</i> . . . . .	35
3.16. Conexión de la aplicación a la nube por medio del servido blynk. . . . .	36
4.1. Señales de los circuitos resonantes. . . . .	38

4.2. Gráficas de secado por ultrasonido. . . . .	39
4.3. Preguntas de escala de Likert. . . . .	40
4.4. Histograma de precio dispuesto a pagar por los clientes. . . . .	40
4.5. Matriz de pugh <i>runny</i> . . . . .	41
4.6. Pruebas de la secadora de gancho. . . . .	42
4.7. Gráfica de la secadora de gancho. . . . .	42
4.8. Conceptos obtenidos (propiedad de Mabe). . . . .	43
4.9. Conceptos <i>mini care</i> (propiedad de Mabe). . . . .	43
4.10. Simulación de ciclos de <i>mini care</i> . . . . .	44
4.11. Dibujo de la secadora ultrasonica en SolidWorks. . . . .	44
4.12. Simulación física de ciclos de <i>mini care</i> . . . . .	45
4.13. <i>Mini care</i> versión 1 completo. . . . .	46
4.15. Plancha con transductores y piezoeléctrico adaptados. . . . .	47
4.16. Secadora por ultrasonido. . . . .	48
4.17. Concepto <i>violet</i> (propiedad de mabe). . . . .	48
4.18. Violet en impresión 3D. . . . .	49
4.19. <i>Violet</i> versión 2. . . . .	49
4.20. <i>Minicare</i> versión 1 (negro) y versión 2 (blanco). . . . .	50
4.21. <i>Minicare</i> versión 2 final. . . . .	52
4.22. Aplicación de la interfaz de usuario. . . . .	53
A.1. Correo de aceptación de artículo “Revisión de tecnologías para el lavado secado y desinfección de ropa” coloquio 14°. . . . .	75
A.2. Certificado por participar como ponente en coloquio 14°. . . . .	76
A.3. Certificado por participar como asistente de Coloquio 14°. . . . .	77
A.4. Certificado de reconocimiento por participar en la Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C. . . . .	78
A.5. Certificado por participar como organizador del Coloquio 13°. . . . .	79
A.6. Certificado de ponencia en congreso internacional de acuaponia Bogotá, Colombia. . . . .	80
A.7. Clases en propédeutico de licenciatura como profesor de física Enero 2020, Por la pandemia se concluyeron las clases de forma virtual). . . . .	80
A.8. Hoja de diseño de <i>minicare versión 1</i> . . . . .	81
A.9. Hoja de diseño de <i>minicare versión 2</i> . . . . .	82

# Índice de tablas

3.1. Los parámetros del piezoeléctrico. . . . .	27
4.1. Alfa de Cronbach. . . . .	37
4.2. Estadísticas de la pregunta 1. . . . .	39
4.3. Porcentaje de humedad del centrifugado. . . . .	45
4.4. Porcentaje de humedad del centrifugado con diferente humedad. . . . .	46
4.5. Porcentaje de humedad de <i>mini care</i> versión 2 . . . . .	51
A.1. Materiales utilizados . . . . .	83

Dirección General de Bibliotecas UAQ

---

# Introducción

La ropa sucia era una tarea que en la antigüedad se realizaba a orillas de una fuente de agua (río, pozo o lago) y consistía en un trabajo manual en donde se golpeaba la ropa típicamente con rocas, arena, o herramientas de madera. A la vez, el secado de ropa consistía en dejar la ropa bajo el sol hasta que se conseguía el secado. Conforme el tiempo pasaba se fueron dejando estas tareas rudimentarias y se empezó a realizar la tarea del lavado con tecnología mecánica accionada manualmente, para posteriormente sustituir el funcionamiento manual por un funcionamiento automático con la integración de motores eléctricos a las lavadoras y secadoras (Bellis, 2019). Una de las tecnologías más utilizadas para el lavado es la agitación mecánica la cual cuenta con muchos tipos de lavadoras entre las que se encuentran las semiautomáticas (que solo lavan), completamente automáticas (lavan, enjuagan y exprimen), lavadoras con aspas o con impulsor (agitador plano), lavadoras de tambor horizontal o vertical (Gizmos, 2018) y lavadoras con sistema de agitación vórtice (giro en sentido anti horario por un tiempo y posteriormente cambiar a sentido horario) (Katayama & Sugihara, 2011). Otra tecnología estudiada es el lavado de ropa por ultrasonido el cual según Mansoor (2018) puede ser potencialmente la siguiente generación de una lavadora de ropa, esta tecnología fue utilizada para el desarrollo del presente trabajo.

El uso del ultrasonido para el secado ha sido estudiado en tres aplicaciones dominantes: ultrasonido para el tratamiento del agua, secado ultrasónico por aire y secado ultrasónico por contacto directo (Zhang & Abatzoglou, 2020). Si la oscilación de campo es lo suficientemente alta (generalmente mayor que  $20\text{ kHz}$ ), el transductor puede generar ondas ultrasónicas que se propagan a través de sus medios circundantes. En la frecuencia apropiada, la vibración provoca una resonancia mecánica y gran tensión. El transductor aplica vibraciones mecánicas al tejido textil, en el cual el agua deja el tejido en forma de una neblina fría de gotas de agua, evitando el calor latente de evaporación (Momen et al., 2015).

El Modelo Mexicano de Formación dual (MMFD) consiste en vincular el sector educativo con el productivo. En este presente trabajo de tesis la Universidad Autónoma de Querétaro y Mabe TyP lleva a cabo el MMFD para que el autor y directores del actual trabajo de tesis unifique lo que se realiza en el ámbito laboral con el académico.

Mabe TyP es una de las grandes empresas que realizar nuevos e innovadores productos, sin embargo, unas de las razones por lo cual se dificulta lograrlo son (Kapoor et al., 2017):

- Existe una intolerancia a los riesgos inherentes de una innovación atrevida.
- Se intenta evitar fracasos sonoros y llamativos.

- Se concentra en el mercado en masa (consumidor promedio).

Con el fin de generar y explorar nuevos productos innovadores, Mabe TyP está implementando la metodología de *first build* la cual es utilizada por *GE Appliances* como un camino para “emula” una empresa emergente (*startup*) (Alänge & Steiber, 2018). Por lo que en el presente trabajo, se realizó el desarrollo de un sistema de lavado y secado de ropa por ultrasonido para lograr el lavado y secado de pequeñas cantidades de ropa para implementarse en un mínimo producto viable para Mabe TyP.

El presente trabajo está dividido en cinco capítulos, El primero de ellos consta de la introducción así como la problemática que se pretende resolver como la justificación del presente trabajo de tesis. También se abordan los antecedentes y el estado del arte de lavadoras y secadoras de ropa de forma cronológica en donde se revisan trabajos por tecnología, patentes y prototipos que se han abordado hasta el momento. Así mismo se presenta la hipótesis propuesta así como el objetivo general y específicos. Se aborda la metodología utilizada para lograr el objetivo general y los específicos, ilustrando la metodología general, de secado y lavado.

El capítulo dos se revisa el marco teórico donde se abordan los conceptos fundamentales para el desarrollo de este trabajo de tesis.

El capítulo tres se documenta el desarrollo que se llevo a cabo para realizar trabajo de tesis. El cuarto capítulo se documentan los resultados obtenidos tras implementar la metodología donde los resultados se ilustran a través de gráficas y datos obtenidos.

## 1.1. Antecedentes

En esta sección se observan los antecedentes de las lavadoras y las secadoras desde su inicio hasta la actualidad así como la tecnología del ultrasonido que ha sido estudiada tanto en el lavado como en el secado de ropa.

### 1.1.1. Antecedentes de lavadora de ropa

En 1782, Henry Sidgier obtuvo una patente británica para una lavadora con tambor giratorio (Cano Guerra, 2018), posteriormente en 1797, Nathaniel Briggs inventó un dispositivo en el cual la ropa se frota enérgicamente a mano (Cano Guerra, 2018). Para 1843, John E. Turnbull inventó una máquina de lavado con un mecanismo de escurridor (Cano Guerra, 2018). Ocho años después (1851), James King patentó la primera máquina que utilizó un tambor (Cano Guerra, 2018).

El inventor de la lavadora eléctrica fue Alva John Fisher en 1901 y lo patentó hasta 1910 (Cano Guerra, 2018). Las primeras lavadoras automáticas datan de principios del siglo XX. Para 1911, *Whirlpool Corporation*, luego *Upton machine Corporation*, iniciaron la producción de motores eléctricos impulsados por arandelas. Once años después (1922), Maytag introdujo el sistema agitador para mover el agua alrededor del tambor (Cano Guerra, 2018).

Más adelante en 1930, W. John Chamberlain de *Bendix Aviation Corporation* (Cano Guerra, 2018), inventó una máquina que lograba lavar, enjuagar y extraer el agua de la ropa en una sola operación (Cano Guerra, 2018). Para 1960, los costos de las máquinas automáticas se redujeron al producir máquinas de doble bañera. Posteriormente en 1978, se produjo el primer *microchip* para el control de la lavadora. Alrededor de los 2000's, la meta fue reducir al máximo el consumo de agua y energía eléctrica (Cano Guerra, 2018).



Posteriormente, Slutsky & Cataudella (2006), patentaron una lavadora portátil el cual constaba de un cesto en donde se colocaba la ropa a lavar, un desagüe por gravedad en el cual se almacenaba el agua al terminar el ciclo de lavado para posteriormente ser vaciada manualmente. Esta lavadora podía funcionar con 120 VCA (toma de corriente doméstica) o 12 VCD (batería), de igual forma contaba con un exprimido por giro. Su capacidad máxima, dos galones de agua por compartimento.

Más adelante, Hurren et al. (2008), analizaron el efecto del ultrasonido en el lavado de lana. Observaron que el lavado ultrasónico provocó un mayor efecto en la eliminación de manchas y el cuidado de la tela de lana a comparación con la agitación manual. Las pruebas las hicieron con agua alcalina, dos tipos de detergentes un suavizador y el otro Hydropol TN450 y con distintos productos para manchar como por ejemplo café negro, vino rojo, refresco y té negro. Dos años después Gallego-Juarez et al. (2010), estudiaron la limpieza por ultrasonido en sistemas continuos textiles haciendo pasar capas de lana de forma plana para que la cavitación pueda tener una mejor limpieza en el material usando transductores rectangulares a una frecuencia de 21 kHz para una distribución del ultrasonido más homogénea.

Gotoh & Harayama (2013), aplicaron el ultrasonido para lavar poliéster en soluciones acuosas, donde se comparaba el lavado de agitación con el ultrasonido a distintas concentraciones acuosas y radios de depósito. Usando manchas de carbón negro y ácido oleico determinaron pruebas de 15 minutos. Logrando, con el lavado por ultrasonido, a los 5 minutos el 80 % de eliminación de las manchas; con la desventaja que el ultrasonido causaba daños en el material textil. También observaron que el radio del tanque influía en la limpieza obteniendo los mejores resultados con diámetros pequeños.

Posteriormente, Choi et al. (2016), colocaron un sistema para el lavado por ultrasonido a una lavadora convencional (lavado por agitación) en donde, realizaron la prueba con solo ultrasonido, la limpieza de la ropa era muy ineficiente (por el tamaño del tanque), pero combinando la vibración ultrasónica con un lavado convencional (utilizando la energía cinética de los textiles) se lograba obtener un rendimiento del 15 % mayor comparado con el lavado solo utilizando la lavadora convencional.

Dos años después, Mansoor (2018), habla sobre la siguiente generación de una lavadora de ropa ultrasónica del tamaño de un *Smartphone* (portátil), este dispositivo portátil fue fabricado por una empresa en Suiza llamada “MPI Ultrasonic engineering laboratories”, dicho dispositivo lo llaman “DOLFI-Next Gen Washing Device” y estiman que usa 80 veces menos energía que las lavadoras convencionales, no daña la ropa y no la decolora.

### 1.1.2. Antecedentes de secado de ropa

En 1800, M. Ponchon (Chica Loor et al., 2013), construyó una secadora de ropa que consistía de un tambor metálico perforado al que se le hacía girar por medio de una manivela sobre una fuente de calor que usaba como combustible leña o carbón, lo cual ayudaba al secado de la ropa (Chica Loor et al., 2013). El problema radicaba en que la ropa llegaba a quemarse, llenar de olor a humo o se manchaba de hollín. A pesar de ser inventado en 1800 la patente la adquirió George T. Sampson de Dayton, Ohio el 7 de junio de 1892 (Chica Loor et al., 2013).

Para 1938, J. Ross Moore, dio el siguiente progreso en la secadora de ropa, construyó un modelo en forma de tambor, que se manejaba con gas y un modelo eléctrico, en conclusión, la primera secadora “automática” (de accionamiento eléctrico) el cual sustituía la manivela manual por un motor que hacía girar el tambor. Fue en ese año con un acuerdo entre Ross y la compañía *Hamilton* de los Dos Ríos que se empezó a comercializar la secadora llamada “Día de Junio”

(Cano Guerra, 2018).

Posteriormente en los años 40's, después de la segunda guerra mundial el uso de las secadoras de ropa se hizo popular, la empresa de *Hamilton* vendían más de 60,000 secadoras eléctricas y de gas anualmente. Para el año 1955 *whirlpool* empezaba a vender secadoras de ropa que tomaban aproximadamente la mitad del tiempo en secar la ropa aumentando el flujo de aire y la producción de gas (Cano Guerra, 2018).

Más adelante, Braun et al. (2002), analizaron la viabilidad de usar bombas de calor (*Reversed Brayton Cycle*) en el cual el aire pasa por un calentador (líquido refrigerante que capta y cede calor), el aire caliente pasa al tambor donde evapora el agua de la ropa, posteriormente el aire caliente y húmedo pasa por un condensador, por último el aire frío y seco vuelve al calentador donde el líquido refrigerante le retransmite calor empezando de nuevo el ciclo. Concluyendo que la secadora por bomba de calor logra una eficiencia de 40 % más que las secadoras que calientan aire por resistencia eléctrica.

En ese mismo año Smith et al. (2002), patentaron una secadora de ropa compacta por microondas la cual su tamaño es  $40.64 \times 35.56 \times 43.18$  [cm], en esta secadora las microondas transfieren el calor directo a la ropa mojada sustituyendo el trabajo de calentar aire para evaporar el agua logrando una mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía. Sin embargo el problema de aislar el tambor para que se aproveche al máximo las microondas hace que no sea rentable este tipo de secadoras de ropa.

Cross & Cross (2005) patentaron una secadora de ropa con luz ultravioleta en donde a una secadora convencional le adaptaron unas lámparas UV con el objetivo de esterilizar la ropa, proporcionando ropa seca, sin bacterias, gérmenes, etc., con el objetivo de ser utilizado en hospitales, centros de biología o para quienes son susceptible a infecciones.

Posteriormente, Miller & Morris (2004), patentaron una secadora de ropa portátil con el objetivo que pudiera llevarse en una maleta de viaje. Este dispositivo era contraíble y fácil de armar contraído medía  $45.7 \times 40.6 \times 17.7$  [cm] y extendido  $45.7 \times 40.6 \times 40.6$  [cm] pesando en total el dispositivo un poco menos de 11.33 [kg]. Su principio constaba en calentar el aire y hacerlo circular con ayuda de un ventilador compacto integrado.

Momen et al. (2015), junto a otros investigadores de *Oak Ridge National Laboratory USA*, presentaron una nueva forma de remover el agua de la ropa usando la vibración de transductores piezoeléctricos para separar el agua mecánicamente por contacto directo rompiendo la adhesión capilar de la humedad en la interfaz entre el aire y el agua permitiendo que esta salga de la ropa en forma de niebla fría.

Un año después, Al-Hasan (2016), Patentó una secadora de artículos personales portátil que constaba de un dispositivo con dos ruedas (lo que facilitaba que fuera desplazable) en el cual se podían colocar artículos personales tales como ropa, sombrillas, zapatos para secarlos. Contaba con unas lamparas ultravioleta para eliminar bacterias y fungicida.

Más adelante, TeGrotenhuis et al. (2017) modelaron y diseñaron una secadora de ropa híbrida de bomba de calor "*Heat Pump Clothes Dryer*" (HPCD, por sus siglas en inglés), en su diseño combinaron la secadora de bomba de calor y la secadora de calentar aire por resistencias logrando obtener una eficiencia de 50 % mayor a las convencionales con la mitad del tiempo de una secadora de bomba de calor.

En ese mismo año, Peng et al. (2017a), analizaron un método de control para el secado de ropa por contacto directo usando transductores ultrasónicos. Su método consistía en realizar un barrido de la señal de alta frecuencia consiguiendo así que con un 20 % del ciclo de trabajo del barrido de

alta frecuencia se consiguió una eficiencia alrededor de 7 a 16 veces mayor que manejando el transductor de forma continua. Aumentaba un poco el tiempo de secado pero no representaba un cambio significativo.

Dos años después, Patel et al. (2019), realizaron un prototipo a pequeña y mediana escala de una secadora de ropa por contacto directo usando vibración ultrasónica, logrando realizar una PCB con 24 transductores secando una prenda de 147 [cm<sup>2</sup>]. Para la mediana escala replicaron 5 veces la PCB teniendo un total de 120 transductores para cubrir una prenda de 750 [cm<sup>2</sup>].

En ese mismo año, Peng & Moghaddam (2019). realizaron un diseño de piezoeléctrico en el cual agregaban una malla al anillo del piezoeléctrico con hoyos de 120 [μm]. Analizaron la eficiencia de energía de 2 transductores piezoeléctricos comerciales transductor de cristal y malla de metal con el diseñado, sometiendo los 3 transductores bajo un volumen de agua conocido (mismas condiciones y métodos de experimentación). El transductor diseñado resulto ser 24 veces más efectivo que el piezoeléctrico de cristal y 3 veces más que el de malla de metal, además con el diseñado se utiliza una frecuencia de oscilación de 23 kHz en comparación de los 135 kHz frecuencia del piezoeléctrico de malla de metal.

También en el mismo año, Momen et al. (2019), patentaron una secadora de ropa por vibración de alta frecuencia, la cual consistía de un tambor rodeada de paneles que contaban con transductores piezoeléctricos y un control de barrido de modulación de pulso para separar el agua de la ropa de forma mecánica por la vibración.

Sanfilippo & Sanfilippo (2019), patentaron una secadora de ropa y cabello portátil la cual era parecida a un cepillo de cabello pero con transductores piezoeléctricos integrados, un control para operar los dispositivos ultrasónicos (piezoeléctricos) y una aspiradora con un almacenamiento para la neblina de agua.

## 1.2. Justificación

En México una encuesta realizada por el Módulo de Práctica Deportiva y Ejercicio Físico (MOPRADEF) en noviembre del 2019 revela que el 42.1 % de la población mexicana mayores a 18 años (aproximadamente 90 millones) es activa físicamente tomando en cuenta que las personas mayores de 18 años se considera también laboralmente activas y que el 38.8 % de las personas activas físicamente realiza ejercicio por las mañana (aproximadamente 34.92 millones) se puede decir que en la mayoría de los casos se realiza actividad física antes de ir a laborar (MOPRADEF, 2020).

México ocupa el segundo lugar con más gimnasios en América Latina con 25,283 establecimientos y 4.1 millones de clientes (Politico, 2020) lo que revela que el 4.5 % de la población mexicana mayor a 18 años activa físicamente acude a los gimnasios para realizar sus actividades físicas. Hay 25,395 negocios registrados en el rubro de hotelería y hospedaje lo que da más de 736 mil cuartos de hospedaje (Negocios, 2020) y (Turistico, 2020). De igual forma se estima que uno de cada seis estudiantes de nivel superior en universidades son foráneos (Rankia, 2020). ¿Qué tienen en común la población activa físicamente, los estudiantes, las personas que acuden a establecimientos de gimnasio y hoteles?. La respuesta es que todos tienen que lidiar con la necesidad de tener la ropa limpia y por ende lavar la ropa sucia en repetidas ocasiones.

El lavado de ropa por ultrasonido tiene aplicaciones industriales, estéticas y zonas poco prácticas de lavar, en donde ha tenido una buena aceptación y eficiencia (Hurren et al., 2008) y (Choi et al., 2016). En ocasiones es difícil adoptar una nueva tecnología, por lo que surge la oportunidad y

necesidad de colocar avances tecnológicos en manos de los usuarios con el fin de otorgar tecnología de una forma práctica, a pequeña escala y cómoda, por tanto, se puede introducir nueva tecnología al mercado, obteniendo retroalimentación de usuarios para la mejora de dicho producto y para su mayor aceptación en un futuro.

### 1.3. Descripción del problema

Uno de los principales problemas que se presentan al salir de viaje, después del gimnasio, después de la escuela o el trabajo es lidiar con la ropa sucia de uso frecuente (uniformes, ropa deportiva, un cambio de ropa entre otros) que al almacenarla empieza a generar malos olores, lavándose hasta tener suficiente ropa sucia para aprovechar el ciclo de lavado, se sabe que los dispositivos de limpieza de ropa como lavadora y secadoras están diseñadas para cargas grandes de trabajo y no para un solo cambio de ropa.

Si bien lavar una prenda individualmente es un proceso considerablemente sencillo que se puede realizar manualmente y sin tomar demasiado tiempo; el secado por otra parte es un proceso que demora más tiempo y colocar una sola prenda a la lavadora y secadora de ropa representaría un desperdicio de energía.

El método más usado para el secado de ropa es el de evaporar el agua por medio de una fuente de calor, proceso que desperdicia mucha energía siendo ineficiente (Horowitz et al., 2011) en su carga de ropa ideal por ende aún más ineficiente para una carga pequeña de ropa o individual.

Otro de los problemas con respecto al realizar nuevos productos que pueden ser innovadores es que las grandes empresas como lo es Mabe TyP evitan fracasos llamativos, se concentran en mercado en masa y se trata de evitar pérdidas al tomar riesgos inherentes de una innovación.

### 1.4. Hipótesis

Un mínimo producto viable (MVP) realizado mediante la metodología *first build* para el lavado y secado de ropa por ultrasonido reduce las manchas y humedad residual en la ropa.

### 1.5. Objetivos

#### 1.5.1. Objetivo

**general**

Desarrollar un sistema de lavado y secado de ropa por medio de ultrasonido empleando la metodología de *"first Build"*, para implementarlo en un mínimo producto viable para MABE TyP.

#### 1.5.2. Objetivos

**específicos**

- Desarrollar pruebas experimentales de energía para generar el efecto de lavado y secado de seado.
- Diseñar la estrategia de control para la operación del sistema utilizando tarjetas electrónicas y microcontroladores.
- Diseñar la interfaz de usuario para la operación de lavado y secado del sistema.

- Desarrollar un prototipo que pueda implementarse en un MVP para realizar pruebas y obtener datos para su análisis.

## 1.6. Metodología

Para el desarrollo de este proyecto, se va a utilizar una metodología donde el proceso se divide en 9 etapas representados en bloques, acorde con la Figura 1.1.

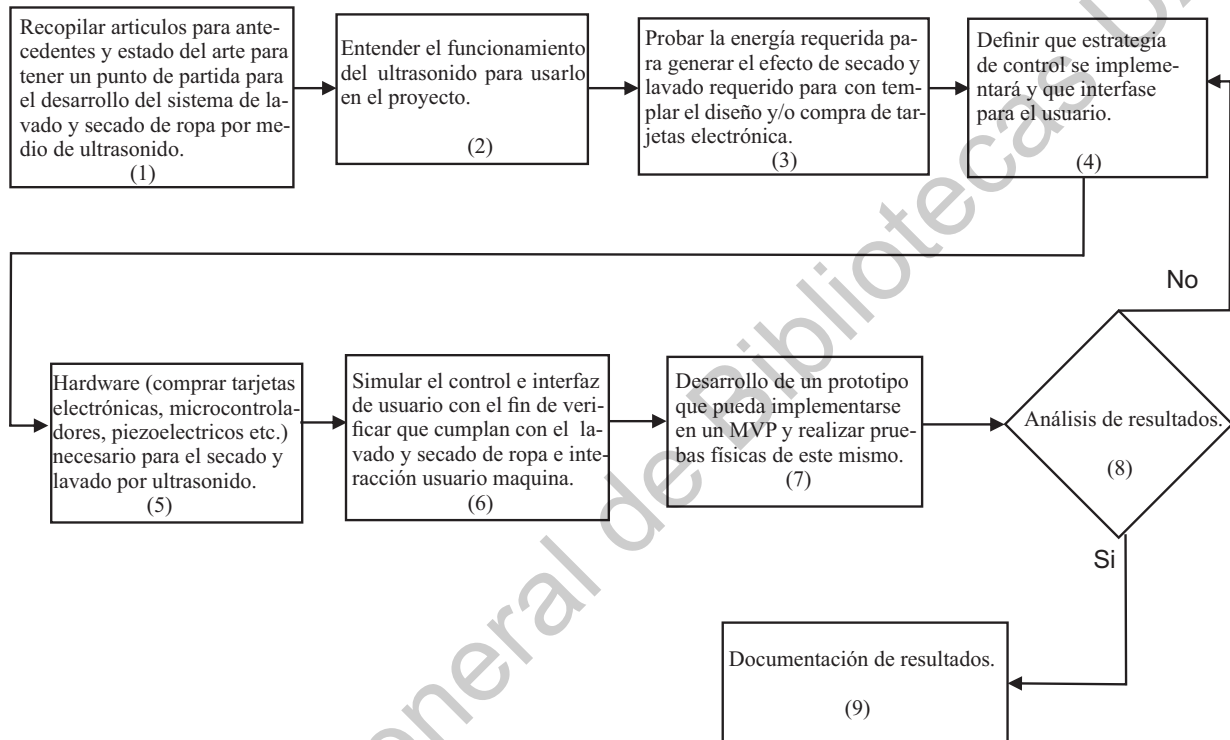


Figura 1.1: Metodología.

A continuación se presenta la descripción de las etapas mostradas en la Figura 1.1.

- ( 1 ) La búsqueda de información para conformar los antecedentes y el estado del arte se realiza en varias fuentes de investigación científica, tales como Scopus, Springer, Elsevier, entre otros. Se buscan artículos con palabras clave tales como: *ultrasound, clothe drying, piezoelectric, laundry, H-bridge*.
- ( 2 ) La búsqueda de información para comprender el fenómeno del secado por ultrasonido, al igual que como se produce el lavado por ultrasonido. Se buscó en fuentes de investigación científicas, tales como Springer, Scopus, Google académico, Elsevier entre otras.
- ( 3 ) Realizar pruebas del tipo de energía requerida usando multímetros, osciloscopios, amperímetros y algún software libre de simulación como *Qucs, Circuit Sims, EasyEDA entre otros*, para

generar el efecto de secado y lavado deseado y emplearlas en las consideraciones del dispositivo de potencia con el fin de diseño y/o compra de tarjetas electrónicas. En este paso se logró probar circuitos creados, comerciales, el puente-H para la generación de señales alternas y con ayuda de tarjetas electrónicas como lo es el FPGA y Arduino.

- ( 4 ) Se definirá cual estrategia de control se implementará para el control del secado y lavado de ropa y definir como será la interacción del usuario con el dispositivo. Una interfaz simple en donde interactue el usuario con el control por medio de botones.
- ( 5 ) Realizar una selección de dispositivos comerciales y en caso de ser necesario diseñar tarjetas electrónicas y piezas. Buscando en tiendas comerciales en línea tales como mercado libre, amazon, aliexpress para conseguir las tarjetas que puedan cumplir con la función del secado por ultrasonido así como el lavado. Estos dispositivos adquiridos se evaluarán de igual forma con osciloscopio, multímetro y amperímetros para observar su funcionamiento y desempeño así como el adaptarlos o realizar “Hackeo” para sistema de lavado y secado de ropa por ultrasonido.
- ( 6 ) Se simula el control e interfaz de usuario con el fin de verificar que cumplan con los requisitos propuestos como lo es lavar, secar ropa e interfaz entre usuario máquina. Utilizando botones y software de simulación.
- ( 7 ) Realizar las pruebas físicamente de los circuitos para su análisis. Dichas pruebas consisten en colocar en un recipiente con agua (aproximadamente 2 litros) y jabón (de 20 a 30  $ml$ ) al cual se le someterá una vibración ultrasónica para posteriormente medir la reducción de manchas o residuos, al igual la prueba física del secado es colocar en contacto directo la prenda húmeda con los piezoeléctricos para que las vibraciones desprendan el agua en forma de neblina fría y de esta forma lograr el secado de la prenda para evaluar el secado se realizaron pruebas en donde se humedece una prenda de radio de 4 mm con peso de 0.0018  $[g]$  con una cantidad de agua de 5  $[\mu l]$ , se somete al secado por ultrasonido en 5  $[s]$ , se pesa, posteriormente se seca en una plancha de calor a una temperatura promedio de  $80^{\circ} C$  y se vuelve a humedecer con la cantidad de agua conocida solo que ahora se aumenta el tiempo de secado por ultrasonido en 10  $[s]$ , 15  $[s]$ , 60  $[s]$ , 120  $[s]$ , 180  $[s]$ , 240  $[s]$  y 300  $[s]$ . Repitiendo el mismo procedimiento por cada tiempo. También se probó una muestra cuadrada de 9  $[mm^2]$  mojada con 10  $[\mu L]$  y 30  $[\mu L]$  siguiendo el procedimiento anteriormente descrito.
- ( 8 ) Análisis de resultados por medio de gráficas para la visualización de la distribución de los datos en donde si los resultados son satisfactorios se documentan los resultados y en caso contrario volvemos al punto (4) repitiendo los pasos siguientes para realizar mejoras y llegar a resultados deseados.
- ( 9 ) Documentar todos los resultados adquiridos, incluyendo la tesis, reportes técnicos experimentaciones fallidas y experiencias propias.

## Fundamentación teórica

En todo trabajo es necesario conocer que fenómenos naturales rigen el funcionamiento de cada aplicación por lo que en esta sección, se presentan los fundamentos teóricos necesarios para entender los principios que rigen el presente trabajo, al igual que ayudan a llevar a cabo el trabajo de tesis.

### 2.1. Ultrasonido

El ultrasonido se define como esa banda por encima de  $20 [kHz]$ . Continúa en el rango de Megahertz y finalmente, alrededor de 1 Gigahertz, pasa a lo que convencionalmente se llama régimen hipersónico. El espectro completo se muestra en la Figura 2.1, donde se indican los rangos típicos para los fenómenos de interés. La mayoría de las aplicaciones descritas tienen lugar en el rango de 1 a  $100 [MHz]$ , correspondiente a las longitudes de onda en un sólido típico de aproximadamente  $1 [mm]$  a  $10 [\mu m]$ , donde una velocidad de sonido promedio es de aproximadamente  $5000 [\frac{m}{s}]$ . En el agua, el líquido más utilizado, la velocidad del sonido es de aproximadamente  $1500 [\frac{m}{s}]$ , con longitudes de onda del orden de  $3 [mm]$  a  $30 [\mu m]$  para el rango de frecuencia anterior (Cheeke, 2017).

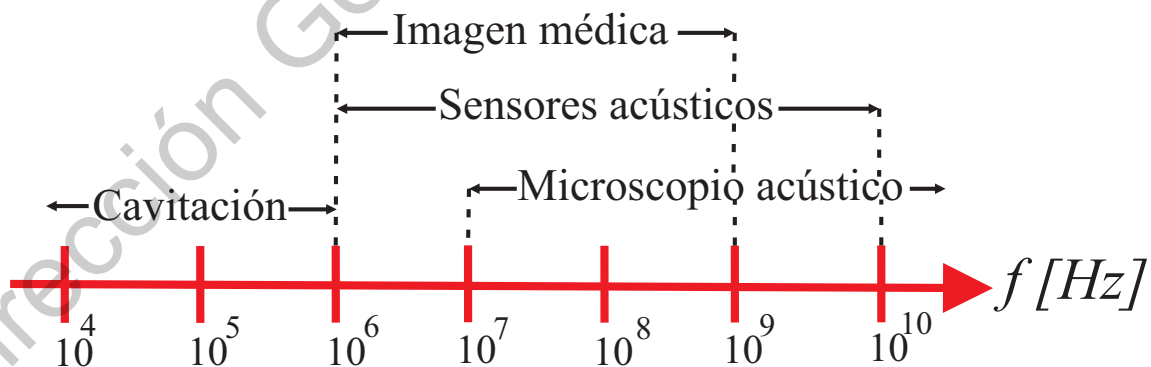


Figura 2.1: Rangos en que trabajan algunas aplicaciones del ultrasonido (imagen modificada de Cheeke (2017)).

Después de los años de post-guerra hasta hoy en día, el desarrollo de tecnologías ultrasónicas ha

ido en aumento trayendo alcances tecnológicos que permiten entender y estudiar más a fondo el ultrasonido y sus beneficios para la humanidad (Cheeke, 2017). Entre los más notables avances científicos encontramos:

- Nuevos materiales de transducción y la utilización de cerámicas para el mismo fin.
- Transductores de cuerno, en donde hay una concentración de energía por la forma de cono que presenta. Esta tecnología es utilizada para corte de diferentes materiales.
- Desarrollo de dinámica de burbujas.
- Limpieza ultrasónica.
- Soldadura y fundición.
- Emulsificación, en donde las partículas de tinta o pintura son removidas de cosméticos, betún para zapatos y demás parafinas.
- Fundición por desgasificación en la metalurgia.
- Imagen, con fines médicos.

## 2.2. Transductores de ultrasonido

Es imposible el desarrollo de osciladores mecánicos que funcionen a frecuencias extremadamente altas. Es, por tanto, necesario encontrar un medio alternativo de generación de ultrasonidos. La forma más común de conseguir esto actualmente consiste en la generación de oscilaciones eléctricas de frecuencia requerida y su posterior conversión en oscilaciones mecánicas. De esta forma es posible definir la frecuencia con bastante precisión. Además, el empleo de oscilaciones eléctricas, que es necesario para la generación de ultrasonido de muy alta frecuencia, es también conveniente en la práctica para la generación de ultrasonidos de frecuencias menores. Los componentes activos que interconvierten las oscilaciones eléctricas y ultrasónicas reciben el nombre de transductores. La manera más normal de llevar a cabo las conversiones electromagnéticas para la generación y detección del ultrasonido, consiste en el empleo de la propiedad conocida como piezoelectricidad (Cracknell, 1982).

Se supone que una rodaja de un cristal eléctricamente aislante, se comprime aplicando fuerzas en sus superficies. Debido a estas fuerzas el cristal se deformará ligeramente y si la simetría de la estructura interna del cristal cumple determinadas condiciones, pueden aparecer cargas eléctricas sobre el cristal como se puede observar en la siguiente Figura 2.2, positiva en una superficie y negativa en la opuesta. En el interior del cristal se crea un campo de potencia electrostático. Si se eliminan las fuerzas externas, las cargas desaparecen. Un cristal que muestre este fenómeno recibe el nombre de piezoeléctrico (Cracknell, 1982).

El fenómeno contrario del efecto piezoeléctrico supondrá que, al colocar un cristal piezoeléctrico en un campo eléctrico, el cristal adquirirá cierta distorsión; si se elimina el campo eléctrico, la distorsión desaparecerá. Una manera conveniente de producir el campo eléctrico consiste en recubrir las superficies de la placa con una película conductora y aplicar un voltaje entre estos recubrimientos metálicos (Cracknell, 1982).

La existencia de la propiedad piezoeléctrica depende de la disposición interna de los átomos en el cristal. Hay muchos cristales que, al ser sometidos a una tensión experimenta distorsiones en las



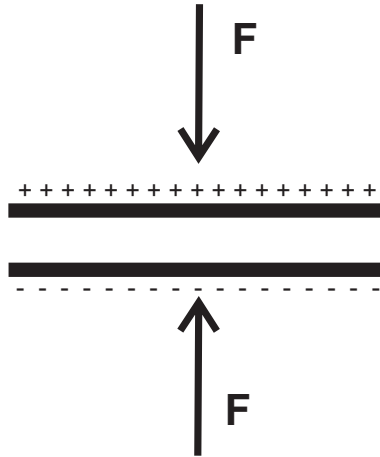


Figura 2.2: Principio de piezoelectrico (Cracknell, 1982).

que las cargas positivas y negativas tratan necesariamente de disponerse a sí mismas, a causa de la simetría del cristal, de manera que no aparece ningún momento dipolar en el espécimen (Cracknell, 1982).

La importancia de los efectos piezoelectricos y su inverso reside en la relación con los ultrasonidos que proporcionan un medio de conversión de las oscilaciones eléctricas en oscilaciones mecánicas y viceversa, mediante el empleo de transductores piezoelectricos (Cracknell, 1982).

### 2.3. Secado por ultrasonido

Los sistemas involucrados en el proceso de secado de ropa por contacto directo utilizan transductores piezoelectricos para generar vibraciones de alta frecuencia. En la mayoría de los casos, las ondas ultrasónicas se transmiten al material a secar por aire o un medio sólido. En el secado de ropa por ultrasonido, la tela se coloca directamente en contacto con el transductor vibratorio para aumentar la transmisión de la energía ultrasónica (Fig.2.3) (Momen et al., 2015).



Figura 2.3: Fenómeno de secado de ropa por vibración de contacto directo (Momen et al., 2015).

De manera similar al proceso de atomización por ultrasonido usando transductores piezoelectricos,

el proceso de secado de la ropa se rige por la magnitud relativa de la fuerza de excitación ultrasónica ( $F_o$ ) y la fuerza de tensión superficial ( $F_s$ ) (Peng et al., 2017a) & (Peng et al., 2017b) como se observa en la siguiente ecuación 2.1.

$$R \sim \left[ \frac{F_o}{F_s} \right] \sim \left[ \frac{d_o^2 \rho A \omega^2}{12 \sigma \cos \theta} \right] \quad (2.1)$$

Donde:

$d_o$  = Diámetro de expulsión del transductor piezoeléctrico.

$\rho$  = Densidad del agua.

$A$  = Amplitud de vibración.

$\omega$  = Frecuencia angular ( $\omega = 2\pi f$ ).

$f$  = Frecuencia.

$\sigma$  = Tensión superficial del líquido.

$\theta$  = Ángulo de contacto formado entre el líquido y sólido.

## 2.4. Inversores modulados por ancho de pulso

Los convertidores de corriente directa (CD) a corriente alterna (CA) se llaman inversores. La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de CD a un voltaje simétrico de salida de CA, con la magnitud y la frecuencia deseada. El voltaje de salida puede ser fijo o variable, a una frecuencia fija o variable. Un voltaje variable de salida se puede obtener haciendo variar el voltaje de entrada de CD, manteniendo constante la ganancia del inversor. Por otro lado, si el voltaje de CD de entrada es fijo y no es controlable, se puede obtener un voltaje variable de salida haciendo variar la ganancia del inversor, lo que se consigue normalmente con control por modulación por ancho de pulso (*PWM*) dentro del inversor. La ganancia del inversor se puede definir como la relación entre el voltaje de salida de CA y el voltaje de entrada de CD (Rashid, 2004).

Las formas de onda del voltaje de salida ideales deberían ser sinusoidales. Sin embargo, las de los inversores prácticos no son sinusoidales y contienen ciertos armónicos. En aplicaciones de potencia baja e intermedia se pueden aceptar voltajes de onda cuadrada o de onda casi cuadrada, y para aplicaciones con alta potencia se requieren formas de onda sinusoidal con poca distorsión. Con la disponibilidad de los dispositivos semiconductores de potencia de alta velocidad, se pueden minimizar los contenidos de armónicos del voltaje de salida, o al menos reducirlos en forma importante, mediante técnicas de conmutación (Rashid, 2004).

Los inversores se pueden clasificar en el sentido amplio de dos tipos: 1) Inversores monofásicos y 2) Inversores trifásicos. Cada uno puede usar dispositivos controlados de encendido y apagado como transistores bipolares de unión (*BJT*), transistores de efecto de campo de metal oxido semiconductor (*MOSFET*), transistores bipolares de compuerta aislada (*IGBT*) o tiristores controlados por compuertas (*GTO*). Estos inversores usan en general señales de control por modulación por ancho de pulso (*PWM*) para producir un voltaje de salida de CA. Un inversor se llama inversor alimentado por voltaje (*VFI*) si el voltaje de entrada permanece constante; Inversor alimentado por corriente (*CFI*) si la corriente de entrada se mantiene constante y convertidor enlazado con CD variable si el voltaje de entrada es controlable. Sí se hacen pasar el voltaje o la corriente de salida del inversor por cero, creando un circuito resonante (*LC*) a esta clase de inversor se le llama inversor de pulso resonante y tiene muchas aplicaciones en la electrónica de potencia (Rashid, 2004).

## 2.5. Principio de operación del inversor de medio puente

El principio de los inversores monofásicos se puede explicar con la Figura 2.4. El circuito del inversor consiste en dos pulsadores. Cuando solo se enciende el transistor  $Q1$ , durante el tiempo  $\frac{T_0}{2}$ , el voltaje instantáneo, a través de la carga es  $\frac{V_s}{2}$ . Si el transistor  $Q2$  se enciende durante un tiempo  $\frac{T_0}{2}$ , aparece  $-\frac{V_s}{2}$  a través de la carga. El circuito lógico se debe diseñar de tal modo que si  $Q1$  y  $Q2$  no estén activos al mismo tiempo (Rashid, 2004).

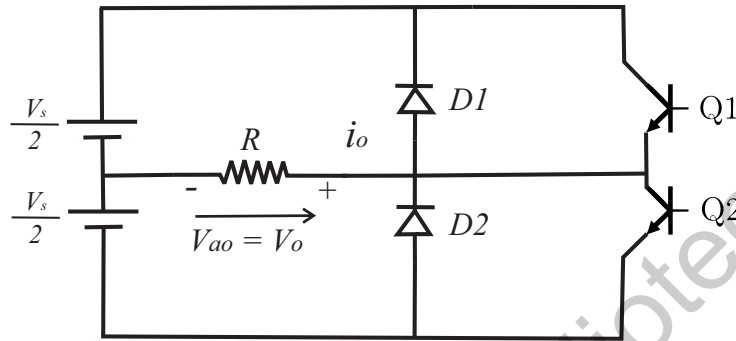


Figura 2.4: Medio puente (Rashid, 2004).

Donde:

$T_0$  = Tiempo [s].

$V_s$  = Alimentación de entrada [V].

## 2.6. Inversor monofásico de puente completo

El inversor de puente completo, o también llamado puente-H, Figura 2.5, está compuesto por una fuente de CD ( $V_s$ ), 4 dispositivos de conmutación  $SW1^1$  al  $SW4^2$ , y una carga  $R^3$ . El principio de funcionamiento para este inversor está basado en el encendido de un par de dispositivos ( $SW1$  y  $SW4$ ) y el apagado del otro par de dispositivos ( $SW2^4$  y  $SW3^5$ ) durante un primer instante de tiempo; lo que hace que en la resistencia de carga se presente una diferencia de potencial con el valor de  $V_s$ . En otro instante de tiempo los dispositivos que estaban encendidos se apagan y viceversa, logrando que en la resistencia de carga se presente una diferencia de potencial con la magnitud de  $V_s$ , pero de signo negativo. En un tercer instante de tiempo, en la resistencia se presentaría una diferencia de potencial igual a cero cuando se enciendan al mismo tiempo los dispositivos  $SW1$  y  $SW2$  o  $SW3$  y  $SW4$  (Llusca et al., 2014).

<sup>1</sup>Switch 1: elemento conmutador 1.

<sup>2</sup>Switch 4: elemento conmutador 4.

<sup>3</sup>Resistencia.

<sup>4</sup>Switch 2: elemento conmutador 2.

<sup>5</sup>Switch 3: elemento conmutador 3.

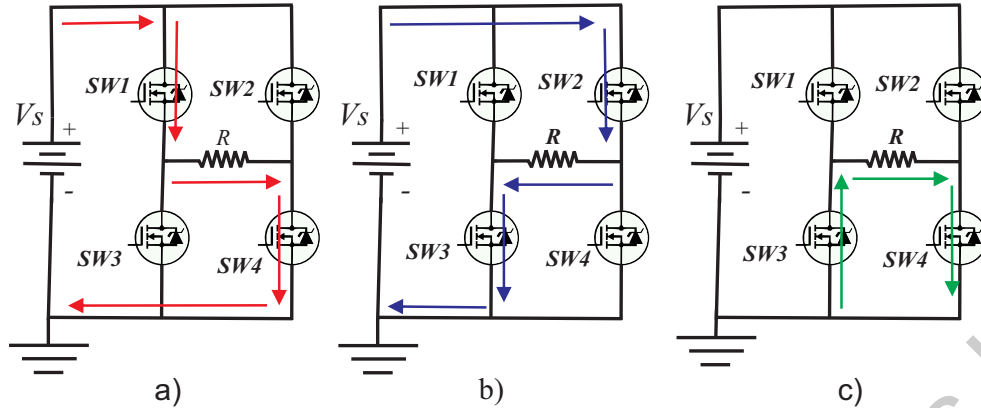


Figura 2.5: Estructura del inversor monofásico en puente completo o puente-H, a) Generación del nivel de tensión  $V_s$ , b) Generación del nivel de tensión  $-V_s$ , c) Generación del nivel de tensión 0. (Llusca et al., 2014).

## 2.7. Cavitación

## Acústica

Se puede definir la cavitación como la formación de uno o más compartimientos de gas (ó cavidades) en un líquido. De aquí, la palabra cavitación se refiere, en sentido general, tanto a la creación de una nueva cavidad como también a la expansión de las cavidades preexistentes a unos tamaños que puedan ser observados macroscópicamente. El contenido de las cavidades está determinado por el vapor del líquido, o sus combinaciones. Algunas veces estas cavidades se denominan burbujas (Gaitan & Crum, 1990). En la Figura 2.6, se puede observar como el fenómeno de la cavitación puede remover manchas o suciedad de la ropa.

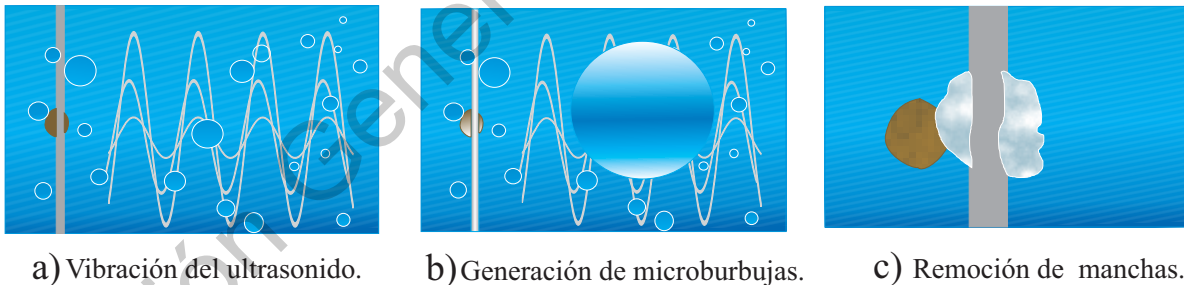


Figura 2.6: a) Vibración por ultrasonido  $< 20 [kHz]$  b) generación de microburbujas c) Remoción de manchas (Gaitan & Crum, 1990).

## 2.8. Limpieza

## por

## ultrasonido

La limpieza ultrasónica se consigue sumergiendo el objeto en un líquido de limpieza adecuado y haciendo pasar ultrasonido a través del fluido. La limpieza es más eficaz si tiene lugar tanto la cavitación como la agitación. Las ondas de choque producidas durante la cavitación alcanzarán

cualquier superficie sólida que se encuentra en el líquido y la restregarán con menos probabilidad de rayar y producir cualquier otro daño al objeto, que si se efectuará un restregado convencional. Además, empleando el ultrasonido se puede llevar a la acción limpiadora hasta todos los rincones y grietas que serían inaccesibles para una escobilla o estropajo mecánico. Hay también algunas industrias como la aeroespacial, en las que los métodos de limpieza habituales no pueden proporcionar el grado de limpieza necesario para algunos de sus productos. Además de los diversos sucios especializados, la aplicación de la limpieza ultrasónica en el contexto industrial ordinario puede proporcionar un ahorro de tiempo, trabajo y costos.

En la mayoría de los empleos de limpieza ultrasónica y para asegurar que ocurre la cavitación, se utiliza una frecuencia para la cual la intensidad umbral de cavitación es bastante baja. En la práctica, por tanto, la mayoría de los equipos de limpieza ultrasónica trabajan con frecuencias de unos 20 [kHz]. Para la limpieza de artículos muy delicados, que podrían verse dañados por la cavitación, se emplean frecuencias más elevadas de 100 [kHz] a 1 [MHz] de forma de que no se supere la intensidad umbral de cavitación (Niño et al., 2010).

## 2.9. Humedad

residual

El control de humedad residual (RMC) es el porcentaje de agua que se queda en la ropa tras un proceso de extracción de agua mecánico (manual o centrifugado) el cual se obtiene mediante la siguiente ecuación (España, 2002):

$$RMC = \left[ \frac{P_c - P_s}{P_s} \right] 100\% \quad (2.2)$$

Donde:

$P_c$  = Peso de ropa centrifugada.

$P_s$  = Peso de ropa seca.

RMC = Porcentaje del Control de humedad residual.

## 2.10. First

build

*General Electric* creó *first build* en el 2014 como una subsidiaria de propiedad total de *GE Appliances*. *First build* explora nuevos conceptos en el área de los aparatos electrodomésticos para el hogar. Los produce en pequeños lotes y los vende a clientes mientras busca nuevas formas de llegar a ellos y obtener una retroalimentación rápida (Alänge & Steiber, 2018). Se propone, mediante el uso de una metodología ágil (diseñar – fabricar – vender) Figura 2.7, generar una interacción entre diseñadores y consumidores que dará como resultado, la detección de áreas de oportunidad/mejora en el producto desarrollado. Sin perder de vista temas de desarrollo de componentes, seguridad y desempeño del producto. Con esta metodología rápida se busca crear un Mínimo producto Viable (MVP) lo cual en Mabe es un prototipo funcional y seguro para ser utilizado por cualquier persona y con este MVP obtener retroalimentación para futuras mejoras.

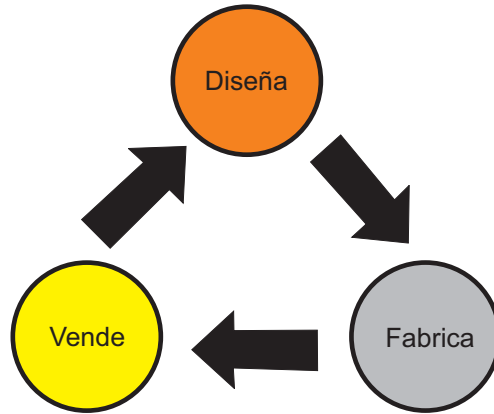


Figura 2.7: Diagrama de metodología *first build*.

## 2.11. Escala de Likert

Una escala de respuesta psicométrica que se utiliza principalmente en cuestionarios para obtener las preferencias de los participantes o el grado de acuerdo con una declaración o un conjunto de declaraciones. Las escalas Likert son una técnica de escalado no comparativa y son unidimensionales (solo miden un rasgo único) por naturaleza. Se pide a los encuestados que indiquen su nivel de acuerdo con una declaración determinada mediante una escala ordinal (Bertram, 2007).

Más comúnmente visto como una escala de 5 puntos Figura 2.8 que va desde “Totalmente en desacuerdo” en un extremo hasta “Totalmente de acuerdo” en el otro, con un “Ni de acuerdo ni en desacuerdo” en el medio; sin embargo, algunos practican por el uso de escalas de 7 y 9 puntos que agregan granularidad adicional. A veces, se utiliza una escala de 4 puntos (u otro número par) para producir una medida ipsativa (elección forzada) donde no hay una opción indiferente disponible. A cada nivel de la escala se le asigna un valor numérico o codificación, que generalmente comienza en 1 y se incrementa en uno para cada nivel (Bertram, 2007). Por ejemplo:



Figura 2.8: Ejemplo de puntuación de la escala de Likert (Bertram, 2007).

## 2.12. Alfa de Cronbach

El coeficiente Alfa de Cronbach es un método de consistencia interna basado en el coeficiente de fiabilidad alfa de Cronbach permite estimar la fiabilidad de un instrumento de medida a través de un conjunto de ítems que se espera que midan el mismo constructo o una única dimensión teórica de un constructo latente (Cronbach, 1951).

La medida de la fiabilidad mediante el alfa de Cronbach asume que los ítems (medidos en escala tipo Likert o también es posible para ítems dicotómicos) miden un mismo constructo y que están altamente correlacionados entre sí (Frías-Navarro, 2014).

El alfa de Cronbach se calcula de la siguiente manera:

$$\alpha = \left[ \frac{K}{K-1} \right] \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right] \quad (2.3)$$

Donde:

$\alpha$  = Coeficiente de Alfa de Cronbach.

$K$  = El número de ítems.

$S_i^2$  = Varianzas de los ítems.

$S_T^2$  = Varianzas de la suma de los ítems.

Como criterio general, George & Mallery (2003) sugieren las recomendaciones siguientes para evaluar los valores de los coeficientes de alfa de Cronbach:

- Coeficiente  $\alpha > 0.9$  es excelente.
- Coeficiente  $\alpha > 0.8$  es bueno.
- Coeficiente  $\alpha > 0.7$  es aceptable.
- Coeficiente  $\alpha > 0.6$  es cuestionable.
- Coeficiente  $\alpha > 0.5$  es pobre.
- Coeficiente  $\alpha < 0.5$  es inaceptable.

### 2.13. Metodología *first build* Mabe

En la Figura 2.9 se observa la metodología de *first build*, inicia buscando una problemática general y los segmentos a investigar, con dicha información se genera un *brief*<sup>6</sup> inicial de proyectos para dar solución a los retos estratégicos de negocio. Una vez teniendo cuenta las problemáticas y las soluciones, se plantea la pregunta ¿Existen suficientes ideas?, en caso de no ser así se abre un *brief* de innovación.

Dicho *brief* se utiliza para definir el alcance, retos y objetivos de una iniciativa de innovación. En ese paso se define los segmentos a los que irá dirigido el producto/servicio, principales hallazgos de la investigación y “herramienta un día en la vida” la cual, se utilizará para el desarrollo de una estrategia de validación comercial.

Posteriormente se hace una innovación abierta, en este proceso se define el curso de acción a tomar para desarrollar una solución atractiva para los segmentos establecidos. Dependiendo de la naturaleza del problema se puede desarrollar una solución de manera interna, o bien, soluciones con la comunidad a través de diferentes iniciativas de innovación abierta. En este proceso por

<sup>6</sup>Documento que contiene las informaciones que serán utilizadas para poder llevar a cabo un proyecto de marketing y publicidad

medios de *Sprint*<sup>7</sup> de innovación. Se concluye con una solución potencial para ser desarrollada y validada a mayor detalle.

Con las conclusiones anteriores se crean fichas de ideas en un documento entregado por los participantes de iniciativa de innovación abierta. En donde explican las ideas por medio de ilustraciones, diagramas y descripciones descritas. Se continúa con el desarrollo del proceso en el que se realiza con mayor detalle la solución seleccionada, a través del análisis y diseño de los elementos clave que la componen. Así como del precio potencial, mensajes clave, perfiles de usuario, modelo de negocios e ilustraciones conceptuales de la solución.

Al terminar el proceso anterior se logran fichas de conceptos V1, en dicha ficha. Se tiene la propuesta de valor, requerimientos de diseño, atributos, modelo de negocios, precios, tres segmentos y mensajes clave. Se realiza una validación integral, proceso en el cual se valida la deseabilidad de la solución desarrollada con clientes reales a través de ejercicios de prototipado rápido. Este proceso tiene como objetivo conocer más sobre la percepción del usuario y terminar de refinar la solución de manera integral.

Una vez realizada esta validación, se obtiene una ficha de concepto V2, la cual es una versión mejorada de la ficha de concepto V1. Se continúa con una validación de atributos, proceso en el cual se fabrica la solución con el objetivo de comenzar a comprobar la factibilidad técnica de la misma, así como comprobar la satisfacción de los segmentos seleccionados con los atributos de la misma. El objetivo principal de este proceso es asegurarse que los componentes entregan la solución deseada, sin ningún tipo de efecto secundario a los clientes potenciales. Ya para este punto se tiene una ficha de concepto V3. Con los detalles del concepto de producto y/o servicio, al igual que el modelo de negocio de la misma.

A partir de aquí se puede trabajar el desarrollo del MVP y la validación comercial, se define cual será el mínimo producto viable de la solución desarrollada que se pueda vender a los clientes de los segmentos meta desarrollando el MVP con componentes propios o bien del mercado. Ya para este punto se logra obtener una ficha técnica de componentes (atributos, validaciones, componentes técnicos y segmento de mercado bien definido).

Mientras se está desarrollando el MVP y la ficha técnica de componentes se está realizando a la par la validación comercial proceso en el que se definen las métricas, estrategias y curso de acción a tomar para validar el potencial comercial de la solución desarrollada con los diferentes segmentos meta. La estrategia depende en gran medida de la capacidad de producción de *first build*, así como del segmento y naturaleza de la solución desarrollada.

Se implementan estrategia de validación comercial por medio digitales utilizando páginas web, publicidad etc. Se procede a implementar las estrategias y por último se hace la selección de graduación dependiendo de los resultados de los procesos previos si los resultados son positivos se busca graduar la idea a través de *first build*, a través de Mabe o bien a través de aliados. En caso contrario se analiza si se puede mejorar los resultados haciendo ajustes al mismo o a la estrategia de validación, se vuelve a evaluar en caso de que no sea posible realizar los ajustes para la mejora.

Se toman los aprendizajes más importantes y se archivan en pool<sup>8</sup> de ideas.

---

<sup>7</sup>Es una forma de trabajo en la que los integrantes de un equipo pueden solucionar un problema de negocio que han encontrado en su servicio o producto en un corto plazo de tiempo.

<sup>8</sup>Técnica recomendable para tratar asuntos de relevancia y con un desarrollo a futuro, como puede ser la generación de procesos, productos o servicios innovadores.



## 2.14. Puente-H

El puente-H a utilizar en este estudio es el modelo IBT-2 que es un controlador de motor basado en dos chips bts7960. La razón de la selección de este componente es por su alta velocidad en conmutación que puede manejar una frecuencia de PWM de hasta 20 [kHz], adicionalmente este modulo tiene una corriente máxima de 43 amperes la cual no es requerida ya que el transductor piezoeléctrico de malla de metal solo consume aproximadamente 150 [mA]. El voltaje que maneja el modulo de mínimo 6 [V] y máximo 27 [V] lo cual en alterno podría dar un Voltaje pico-pico ( $V_{pp}$ ) de 12 [ $V_{pp}$ ] a 54 [ $V_{pp}$ ]. Para la experimentación se uso una entrada de 24 [V]. El nivel de activación lógico es de 3 a 5 [V] lo cual es favorable ya que el FPGA a utilizar el voltaje lógico es de 3.3 [V] (Technology, 2021).

Se señala con la letra A, a la entrada GND y con la letra B a la entrada VCC, en este puerto se conectan 3-5 [V], que son los necesarios para la activación del puente-H. Posteriormente tenemos con las letras C y D las salidas laterales de alarma de corriente, que no fueron utilizadas para este trabajo. Después contamos con dos entradas, indicadas con las letras E y F, que son ENB-R y ENB-L, las cuales requieren ser conectadas de 3 a 5 [V] para el activamiento de las señales PWM. Finalmente tenemos las entradas PWM-L y PWM-R, señaladas con G y H, izquierda y derecha respectivamente. Las entradas fueron nombradas por el orden de las letras señaladas en la imagen. Por otro lado tenemos dos entradas y dos salidas que se muestran a la derecha de la imagen, donde 1 y 2, están simbolizadas como B- y B+ respectivamente, en estas entradas se conecta la fuente de 24V y las salidas 3 y 4 simbolizadas como M+ y M-, es donde se conectarán el piezoeléctrico.

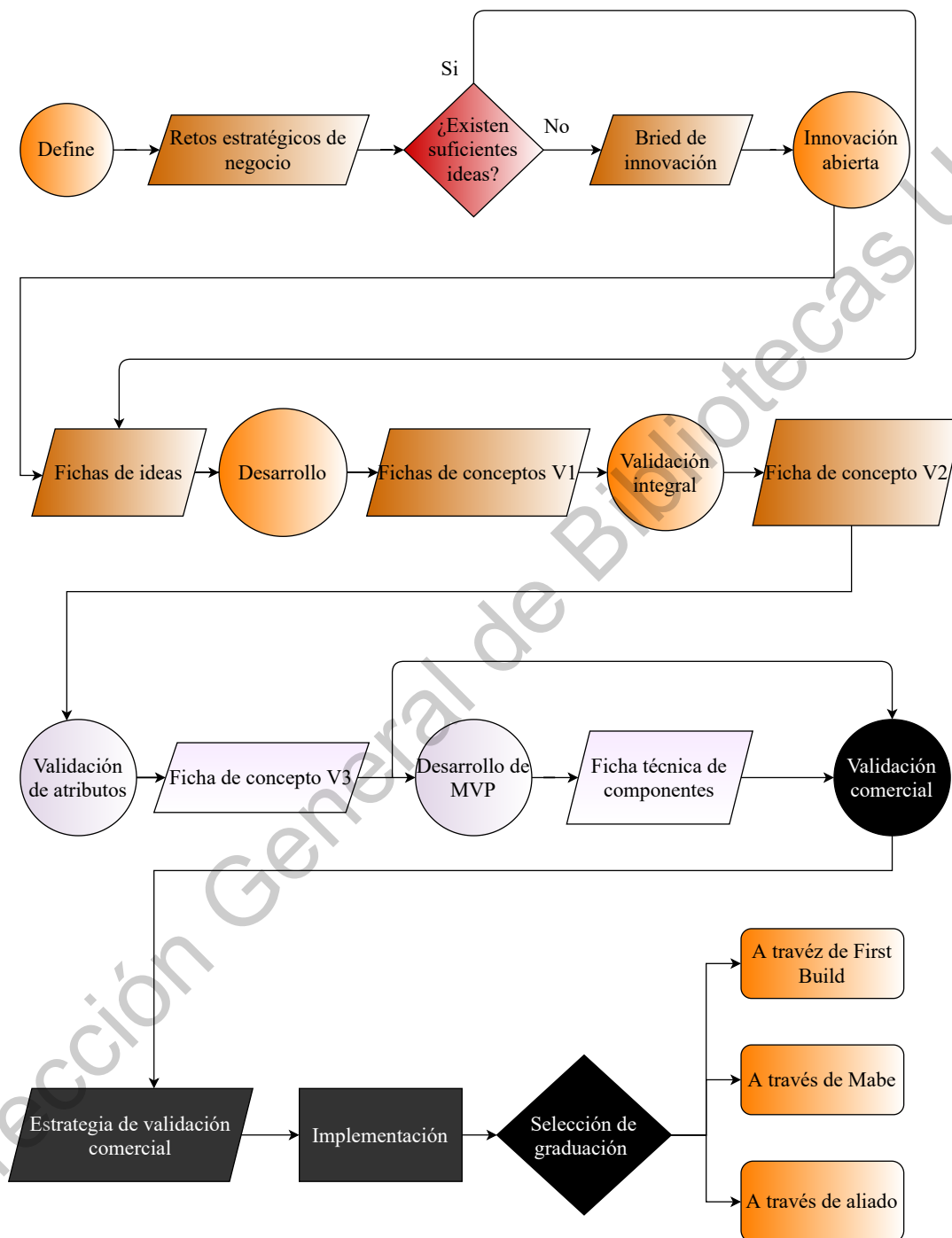


Figura 2.9: Metodología *first build* (propiedad de mabe).

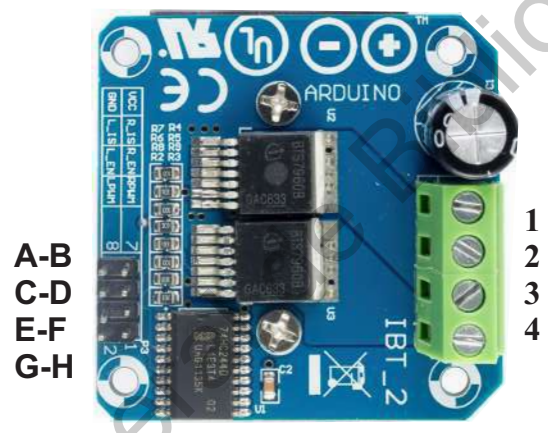


Figura 2.10: Puertos de entrada y salida del puente-H modelo BTS7960.

---

# Desarrollo de un sistema de lavado y secado de ropa por ultrasonido

En este capítulo se describen las pruebas y experimentos que se llevaron a cabo para desarrollar y validar la factibilidad del uso del ultrasonido tanto en el lavado como en el secado de ropa. Para el lavado de ropa se utilizó un dispositivo comercial que generó un lavado de ropa a una frecuencia de  $60\text{ kHz}$ , este proceso se planteó en como lo usaría una persona normalmente. Con respecto al secado por ultrasonido se utilizó un transductor piezoeléctrico, el cual es activado por medio de un modulador de frecuencia programado en FPGA y un puente-H, así mismo se probó con un circuito comercial para activar transductores piezoeléctricos.

## 3.1. Proceso del lavado por ultrasonido

El material utilizado para llevar a cabo este proceso es una lavadora de ultrasonido portátil comercial de  $60\text{ kHz}$ , como se puede ver en la Figura 3.2c (Aliexpress, 2021), jabón líquido, tapa medidora de jabón líquido, dos camisas talla universal de 100 % algodón con 6 tipos de manchas:

- Crema de cacahuete.
- Salsa de soya.
- Salsa barbecue.
- Mostaza.
- Salsa picante.
- Salsa de tomate.

El proceso de prueba consistió en primero manchar las dos muestras de camisa de 100 % algodón con una cucharada de las 6 manchas anteriormente mencionadas. Después, se dejó reposar las manchas por 10 minutos, transcurrido ese tiempo se limpió con una servilleta para eliminar el exceso de la mancha. Posteriormente en un recipiente de diámetro de  $25\text{ [cm]}$  Figura 3.2a y  $9\text{ [cm]}$  de altura Figura 3.2b, como se puede observar en la Figura 3.2, se agregó de 20 a 30  $[ml]$  de jabón líquido con dos litros de agua y se mezcló.

Una vez lograda la mezcla se agregó la camisa a su respectivo recipiente, en donde una camisa se sometió a ultrasonido por 900 segundos y la otra camisa solo se deja remojar por el mismo tiempo. Una vez pasado ese tiempo se enjuagan las camisas y se colocaron a secar al aire libre. Cuando las camisas se secaron se procedió a realizar un análisis visual para que a partir de esta comparación, ver si existe a simple vista alguna eliminación o remoción de la mancha.

Este proceso de lavado por ultrasonido se realizó en un video que se subió a la plataforma de Youtube (Valdez, 2021) y con ayuda del formulario de Google, se creó una pequeña encuesta. Por medio de una escala de Likert se evaluó la perspectiva de las personas acerca del lavado por ultrasonido. En la Figura 3.1 se observa el diagrama de flujo del proceso empleado para el lavado de ropa por ultrasonido para la eliminación de manchas.

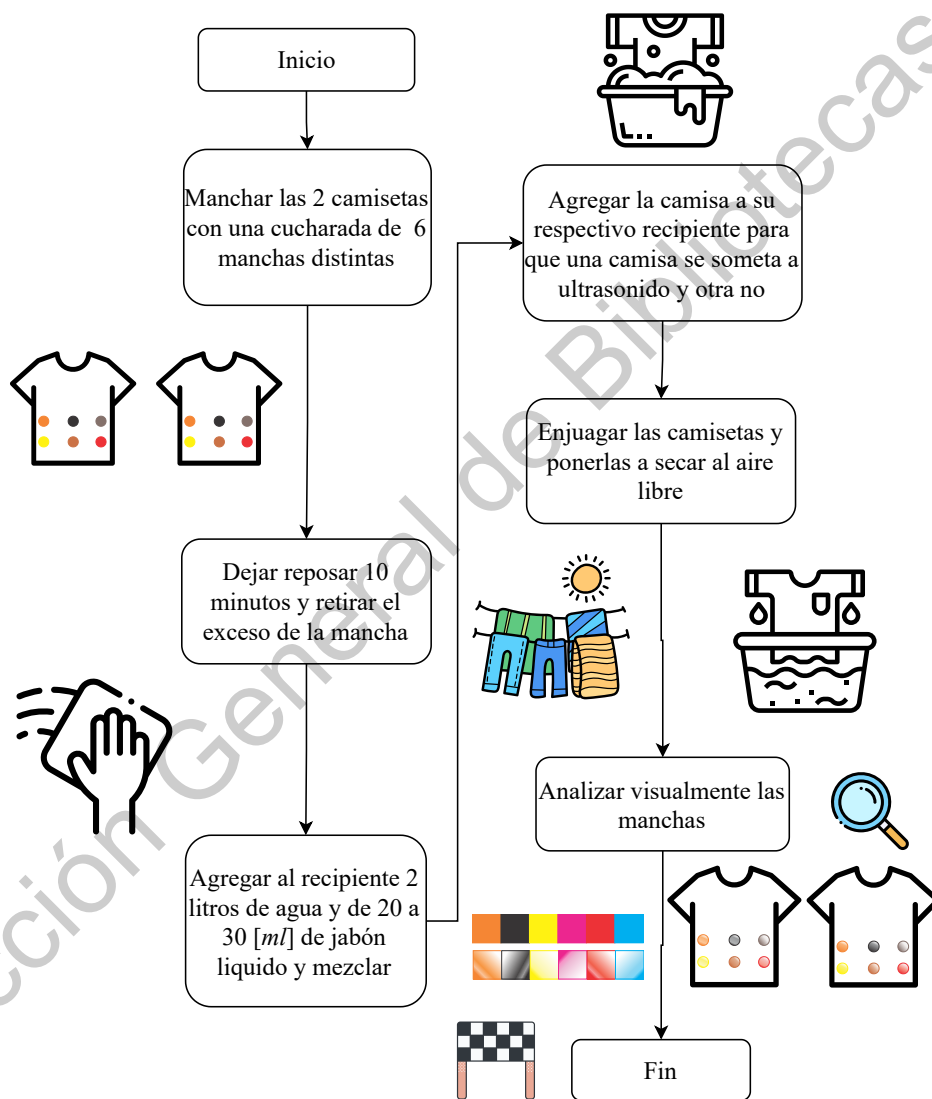


Figura 3.1: Diagrama de flujo del lavado por ultrasonido.



(a) Diámetro de recipiente de prueba de lavado.



(b) Altura de recipiente de prueba de lavado.



(c) Lavadora de ultrasonido utilizada.

Figura 3.2: Mediciones del recipiente.

## 3.2. Proceso de secado por ultrasonido

En esta subsección se plantea la configuración de proceso para realizar el secado de ropa por ultrasonido así como las ecuaciones que se encuentran en la literatura de los parámetros físicos que parecen rigen este fenómeno.

### 3.2.1. Configuración del proceso

Partiendo de la ecuación 2.1, del movimiento armónico simple, ecuación 3.1 y segunda ley de Newton Ecuación 3.3 que son las leyes de la naturaleza que parecen influir en el secado de ropa por ultrasonido se diseñó el siguiente planteamiento de proceso de secado como se muestra en la Figura 3.3 se identifican las entradas las cuales son la amplitud de la oscilación, la frecuencia de oscilación y el tiempo del tratamiento de ultrasonido para lograr así a la salida un control de remoción de humedad. Los parámetros de ruido se controlan eligiendo el tipo de ropa a utilizar en este caso ropa de 100 % algodón, cantidad de agua fijas (humedad), temperatura del ambiente a 20 [°C], y la humedad del ambiente de 30 [%] de humedad relativa (RH).

La ecuación del movimiento armónico simple se muestra en la ecuación 3.1 (Tippens et al., 2007).

$$y = A \cos(2 \pi f t + \phi) \quad (3.1)$$

Donde:

$y$  = Desplazamiento.

$A$  = Amplitud.

$f$  = Frecuencia.

$\phi$  = Desfasamiento.

$t$  = Tiempo.

Al calcular la segunda derivada con respecto al tiempo de la ecuación 3.1, se obtiene la aceleración expresada por la ecuación 3.2:

$$a(t) = -\omega^2 A \cos(\omega t \phi) \quad (3.2)$$

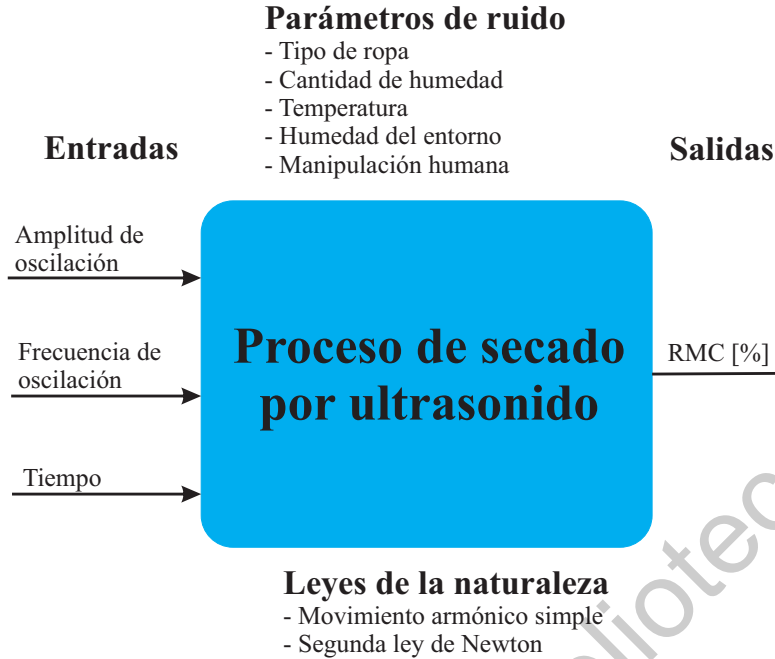


Figura 3.3: Planteamiento de proceso de secado.

Donde:

$$\omega = 2 \pi f.$$

$a(t)$  = Aceleración con respecto al tiempo.

La ecuación de la segunda ley de Newton se muestra en la ecuación 3.3 (Tippens et al., 2007).

$$F = m_a a \tag{3.3}$$

Donde:

$F$  = Fuerza.

$m_a$  = Masa.

$a$  = Aceleración.

### 3.2.2. Material y proceso de secado por ultrasonido

El material utilizado para este proceso es un FPGA Basys 3 - Artix-7: XC7A35T-1CPG236C, un puente-H bts7960, circuito comercial (tarjeta creadora de niebla por ultrasonido), este circuito es un controlador de transductores para los humidificadores y funciona con 5 [V<sub>CD</sub>] de entrada para generar una señal de salida de un voltaje pico a pico de aproximadamente 100 [V<sub>pp</sub>] a una frecuencia de 113 ± 3 [kHz] (PZT de cerámica Electronic Co., 2021).

se ocupó también, una micropipeta (inexactitud del ± 6 [%] y imprecisión ≤ 3.0 [%]), agua pura destilada, un osciloscopio Tektronix TDS2024B (con su respectivo software “Open Choice Desktop” para PC), una pinza de precisión 0.15 [mm], una micropesa Sartorius CP324S (resolución de 0.1 [mg]), un peso de  $F = 22.22$  [g], 10 muestras circulares de tela de 100 [%] algodón con diámetro de 4 [mm] y peso promedio de 0.00175 [g], 10 muestras cuadradas de la misma tela con 9 [mm<sup>2</sup>]

con peso promedio de 0.01056 [g], un Arduino Mega, un plato caliente y un transductor malla de metal.

En la Figura 3.4, se puede observar el modelo de activación del transductor piezoeléctrico utilizando el FPGA y puente-H para la activación del transductor, así como una pequeña interfaz de activación controlada por un microcontrolador, un relevador y un botón.

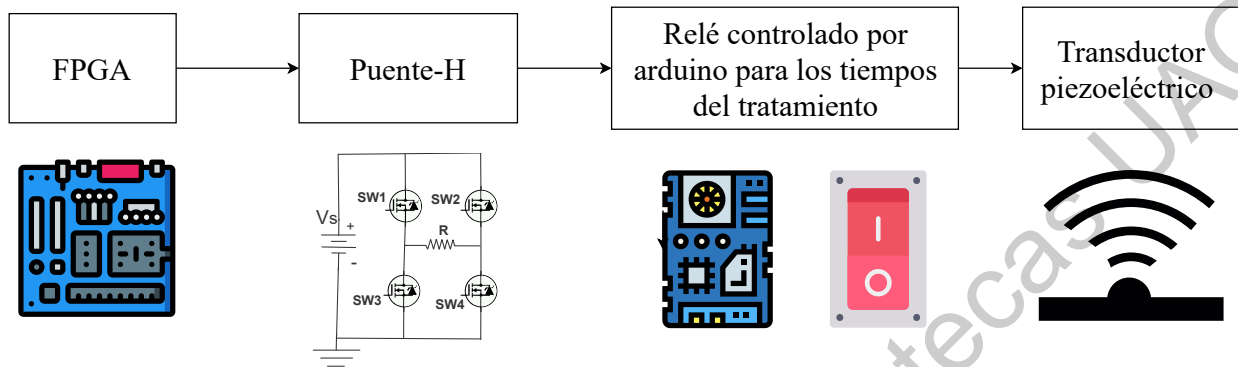


Figura 3.4: Modelo de activación de transductor utilizando el puente H.

En el proceso de secado de la muestra se colocó un peso de  $F = 22.22$  [g] entre la muestra y el transductor como se muestra en la Figura 3.5, con el fin que la muestra este siempre en contacto con el transductor ya que se tiende a separar.

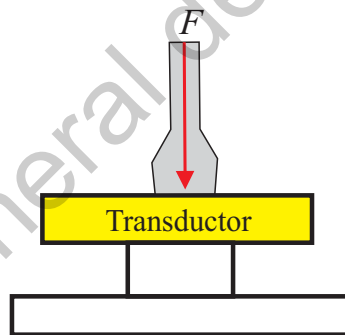


Figura 3.5: Peso entre la muestra y el transductor piezoeléctrico.

En la Tabla 3.1, se muestran las características que presenta el piezoeléctrico.

En el diagrama de flujo de la Figura 3.6, se muestra la manera en que se llevó a cabo el proceso de secado, en donde cada muestra se moja con una cantidad de agua conocida (5 [μl] (0.005 [g]), 10 [μl] (0.01 [g]) ó 30 [μl] (0.03 [g])). Posteriormente se sometió a un tratamiento de ultrasonido con los siguientes intervalos de 5 [s], 10 [s], 15 [s], 60 [s], 120 [s], 180 [s], 240 [s] y 300 [s] aumentando por cada interacción. Se registró el peso de la muestra tras cada procesamiento. Si no está seca la muestra, se coloca en un plato caliente a 80 [°C], en caso de estar seca y terminado las 10 muestras se termina el proceso.

Este proceso se repitió por cada una de las 10 muestras de diámetro de 4 [mm] y 9 [mm<sup>2</sup>]. El secado consistió en primero secar las primeras 10 muestras de diámetro de 4 [mm] mojadas con 5



Tabla 3.1: Los parámetros del piezoeléctrico.

Parametro	Valor	Unidad
Diámetro	16	[mm]
Frecuencia de resonancia	108 ± 5	[kHz]
Impedancia	100	[Ω]
Voltaje máximo pico-pico	70-130	[V]
Voltaje de entrada	5-24	[V <sub>dc</sub> ]
Potencia	2.5	[W]

[μl] de agua destilada utilizando el puente-H. Posteriormente se repitió el mismo proceso pero ahora con el circuito comercial, después las 10 muestras de 9 [mm<sup>2</sup>] con 10 [μl] de agua utilizando el circuito comercial y por último las 10 muestras de 9 [mm<sup>2</sup>] con 30 [μl] de agua utilizando el circuito comercial (en los últimos 3 procesos solo se utilizó el circuito comercial).

Las pruebas se realizaron en un cuarto con la temperatura y humedad relativa (RH) controlada siendo estas de 20 [°C] y 30% [RH]. La desviación estándar relativa de las mediciones es en promedio menor a 11 [%] y un promedio del error estándar de la media igual a 0.0003103.

En la Figura 3.7, se muestra el diagrama de bloques que se utilizó para modular la frecuencia y controlar el puente-H. Este modulador está compuesto de un contador con una entrada  $P$  (pasos de la cuenta), un comparador en donde pregunta si la cuenta es mayor o igual a  $d$  (divisor de frecuencia) en caso de cumplirse manda la señal al *toggle* para que se logre la modulación de la frecuencia.

Con el diagrama de bloques de la Figura 3.7 se obtienen la resolución de frecuencia:

$$R = \frac{2^n M_{clock}}{2 d} \quad (3.4)$$

Donde:

$R$ : Resolución de frecuencia (Hz).

$n$ : Números de bits para la entrada  $P$ .

$d$ : La división del reloj maestro.

$M_{clock}$ : El reloj maestro.

Los *bits* necesarios del valor del reloj maestro,  $m$ , están definidos por la fórmula:

$$m = \frac{\log M_{clock}}{\log 2} \quad (3.5)$$

La frecuencia modulada se obtiene con la fórmula de la ecuación 3.6:

$$f_m = (P) (R) \quad (3.6)$$

Donde:

$f_m$ : Es la frecuencia modelada.

$P$ : La entrada del contador.

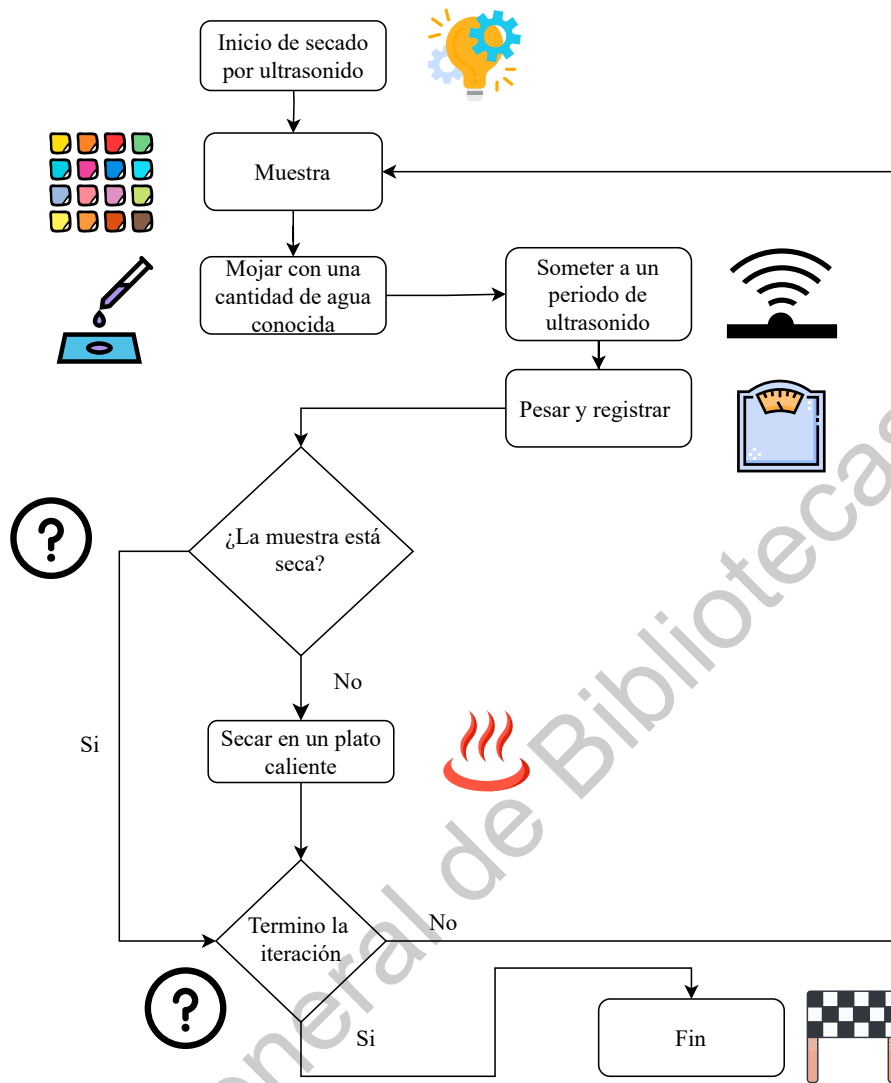


Figura 3.6: Diagrama de flujo del secado por ultrasonido.

### 3.2.3. Circuitos

empleados

El diagrama eléctrico de la Figura 3.8 muestra el circuito comercial utilizado para activar el piezoeléctrico. Un circuito oscilante creado a partir de la ingeniería inversa de otro circuito comercial Figura 3.9 se ve en la Figura 3.10 el cual genera una señal oscilante.

El circuito de la Figura 3.10, tiene el inconveniente que el MOSFET<sup>1</sup> se incrementa mucho su temperatura y requiere un disipador, sin embargo, aun usando dicho disipador el tiempo de vida del MOSFET es muy corto, por lo que solo se realizaron las iteraciones del secado con el circuito comercial y el puente-H.

En la Figura 3.11, se muestran algunos de los materiales utilizados para llevar a cabo las pruebas de secado. En la Figura 3.11a, se puede apreciar la 1.- micropipeta, 2.- muestras, 3.- osciloscopio,

<sup>1</sup>transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor

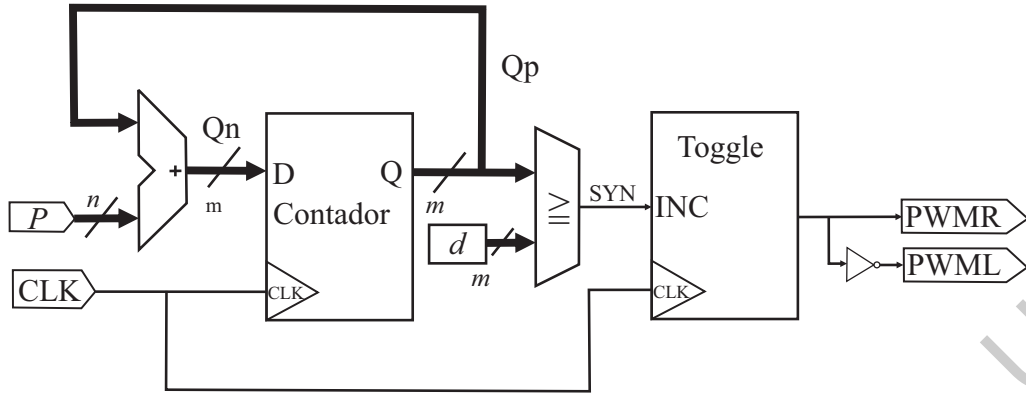


Figura 3.7: Diagrama de bloques del modulador de frecuencia.

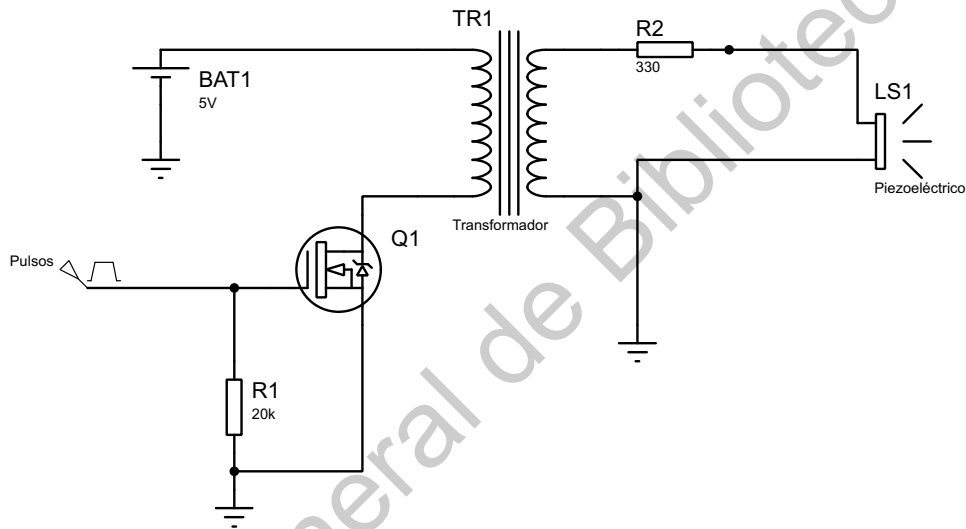


Figura 3.8: Circuito comercial.

#### 4.- puente-H y el FPGA.

En la Figura 3.12 se observan la balanza especial que se utilizó para pesar el meso de agua tras cada tiempo de procesamiento de ultrasonido.

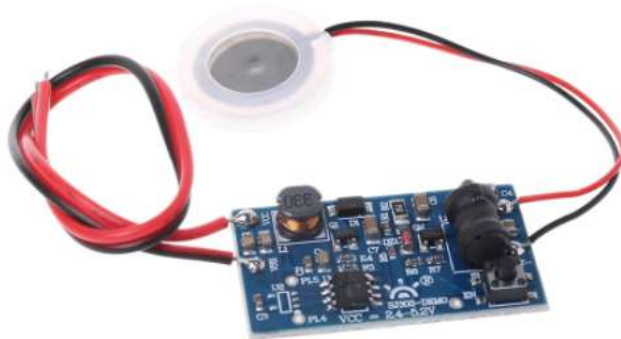


Figura 3.9: Tarjeta comercial para el piezoelectrico.

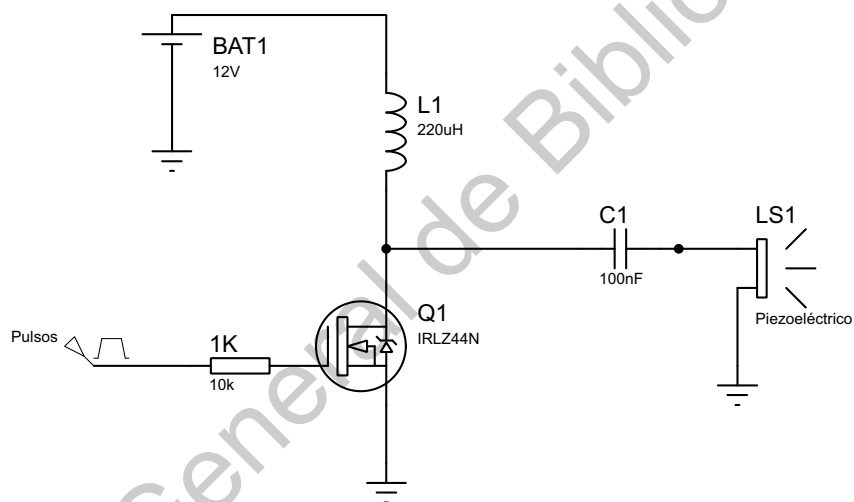
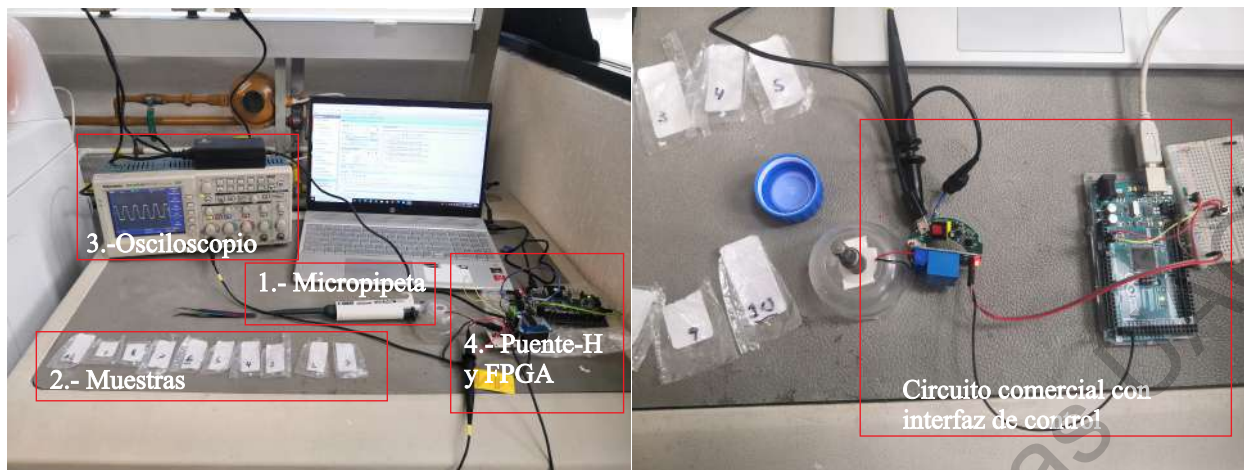


Figura 3.10: Circuito creado a partir del la ingenieria inversa.

### 3.3. Aporte en el Mínimo Producto Viable realizado en mabe

En esta subsección se redacta la aportación que el alumno realizó para llevar a cabo el MVP de Mabe TyP. En donde se puso en practica todos los conocimientos adquiridos durante la maestría. Aportando la programación de los ciclos requeridos para el MVP que lleva por nombre *minicare*, proponer ideas para solucionar pruebas de seguridad y realizar invetigaciones de tecnologías para el lavado, desinfección y secado de ropa.



(a) Instrumentos utilizados para el experimento.

(b) Circuito comercial.

Figura 3.11: Experimento de secado por ultrasonido.



(a) Peso de muestra 1.

(b) Peso de muestra 2.

(c) Peso de muestra 3.

Figura 3.12: Micropesa SartoriusCP324S (resolución de 0.1 [mg]).

### 3.3.1. Programación

*mini*

*care*

En el diagrama de flujo de la Figura 3.13 y 3.14 está el algoritmo de funcionamiento de la secadora centrífuga (*mini care*), dicho diagrama de flujo se divide en tres partes dichas secciones se describen a continuación:

- Parte 1: consiste en el encendido del equipo. El cual pregunta si la secadora centrífuga es encendida, permanece en dicho estado hasta que sea encendido. Una vez que se inicia se coloca un temporizador, el cual si en un minuto no se selecciona alguna función de las cinco disponibles se vuelve a apagar y esperar a ser encendido de nuevo.

- Parte 2: consiste en preguntar si alguna de las cinco funciones ha sido activada (Secado centrifuga, desinfección (UV), deodorizado (ozono), aire caliente y/o aromatizado). En esta parte del código continúa con el mismo temporizador de la parte 1 en donde si en 1 minuto ahora no se presiona el botón de inicio, este se apaga y vuelve al ciclo de la parte 1.
- Parte 3: consiste del ciclo de las funciones seleccionadas en la parte 2 que haya iniciado el proceso. Dependiendo de los ciclos seleccionados son las funciones que se realizaran, aunque siempre serán en el orden de primero secado por centrifugado después desinfección por UV, posteriormente el deodorizado al terminar el deodorizado continúa con el ciclo de aire caliente y por último el aromatizado, este es el orden que seguirá en caso de que una función no sea activada continuará con la siguiente próxima, así hasta concluir el ciclo. En cada ciclo de la parte 3 se puede pausar y volver a iniciar en el ciclo pendiente.

Dirección General de Bibliotecas

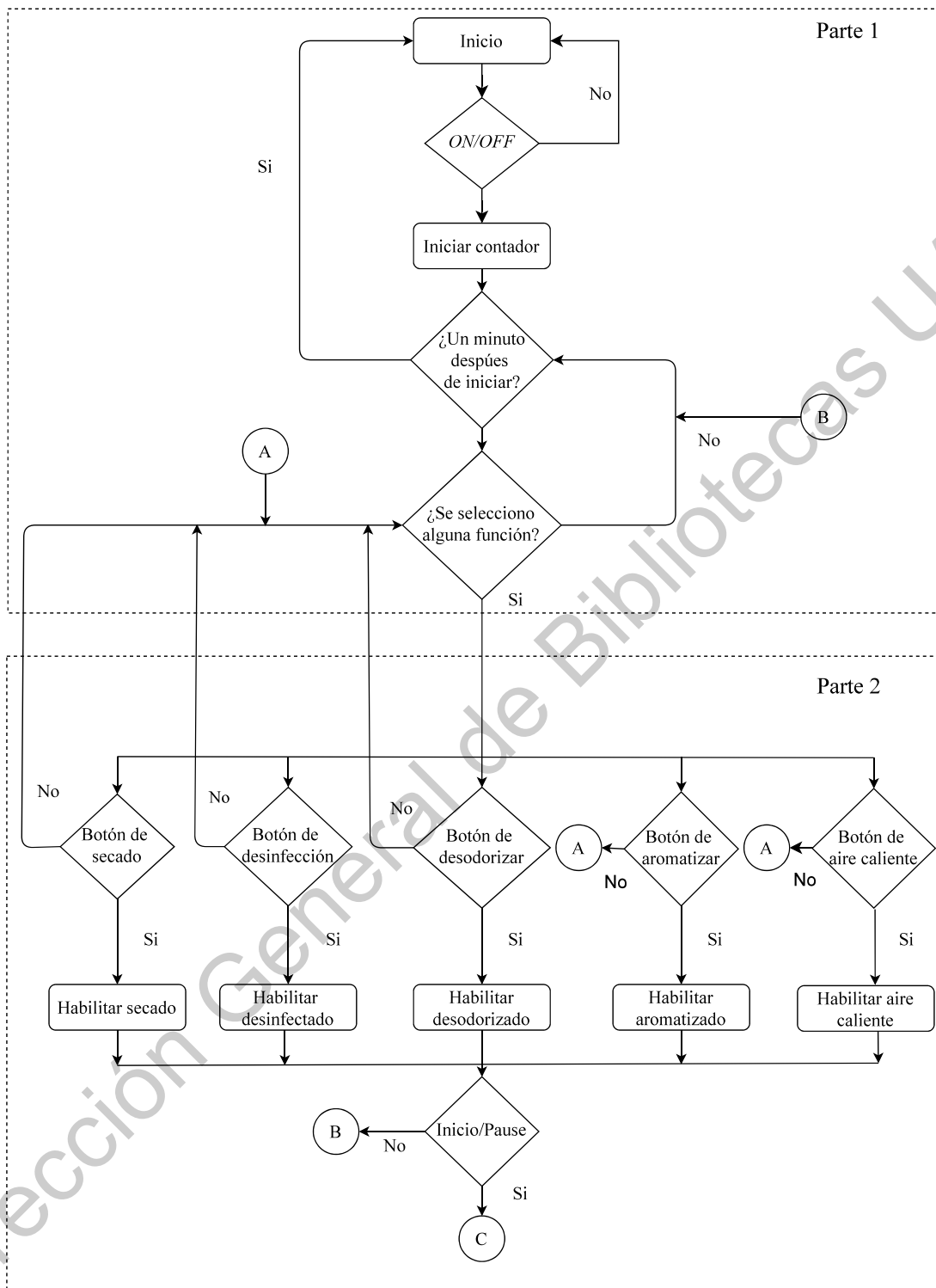


Figura 3.13: Diagrama de flujo de programación de *mini care*.

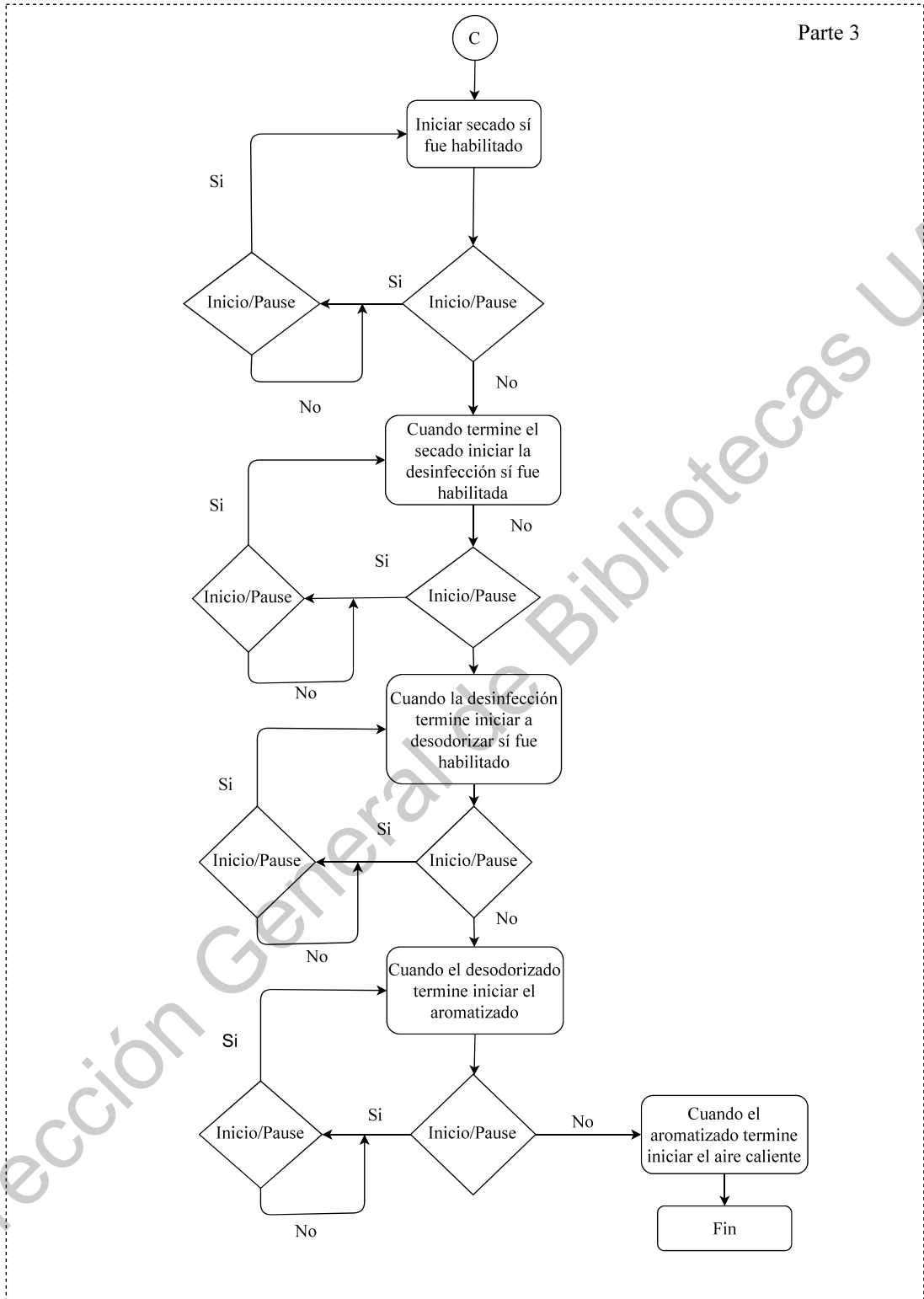


Figura 3.14: Continuación del diagrama de flujo de programación de *mini care*.



### 3.3.2. Interfaz

al

usuario

Para una propuesta de la interfaz de usuario se desarrolló una aplicación para activar los tres ciclos de *mini care*. En la Figura 3.15 se muestra como es el flujo de la conexión del usuario a *mini care*, el cual utiliza la tarjeta electrónica programable ESP 32 por medio de WiFi el cual al no estar conectado abre un punto de acceso inalámbrico llamado *minicare* (una red que al buscar redes de WiFi se habilita) el cual abre un *webserver* y abre un *Websocket* con la dirección ip 192.168.4.1.

En dicha dirección ip se ingresa las credenciales por medio de cualquier navegador, una vez conectado deshabilita el punto de acceso inalámbrico, guarda los datos de las credenciales en la EEPROM y resetea el microcontrolador en caso que las credenciales sean correctas se conectara al

WiFi del *modem router* y de esta forma se establecería la conexión por medio del servidor *blynk* para controlar por IoT y por medio de una aplicación a la secadora centrífuga en caso contrario se vuelve a habilitar el punto de acceso inalámbrico para volver a ingresar las credenciales, estará en este ciclo hasta que se ingresen las credenciales correctas.

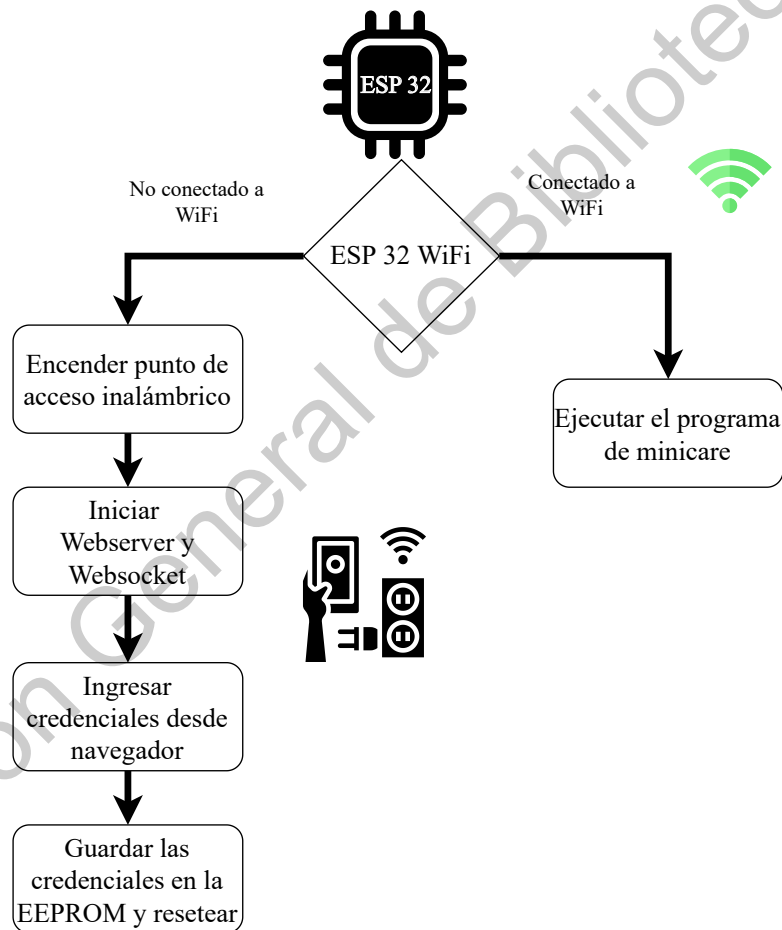


Figura 3.15: Diseño de propuesta de la interfaz para el usuario del *mini care*.

En la Figura 3.16 se observa que una vez que el ESP 32 se conecta a internet por medio del servidor *blynk* establece la conexión entre la aplicación y el microcontrolador para que se logre el envío de acciones y la retroalimentación de la tarjeta programable para mostrar información en la

pantalla de la aplicación.

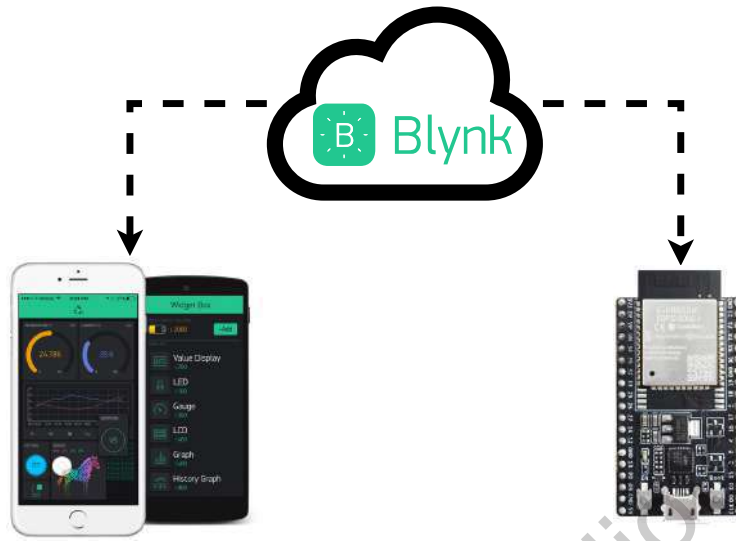


Figura 3.16: Conexión de la aplicación a la nube por medio del servicio blynk.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

## Resultados

De los tres circuitos creados en la Figura 4.1 se muestran las formas de ondas que estas generan y la forma que tienen durante la operación (la activación del piezoeléctrico). En el circuito oscilante creado sin carga Figura.4.1a el voltaje pico a pico es igual a 65  $[V_{pp}]$  y con carga es de 56  $[V_{pp}]$  Figura 4.1b, con respecto al circuito comercial se observa que sin carga Figura 4.1c, es de 292  $[V_{pp}]$  y con carga 92  $[V_{pp}]$  Figura 4.1d, con el puente-H el voltaje sin carga es de 41  $[V_{pp}]$  Figura 4.1e, mientras que con carga es de 37  $[V_{pp}]$  Figura 4.1f.

Las gráficas de secado se pueden apreciar en la Figura 4.2 donde se encuentra el secado utilizando como controlador el puente-H con la muestra de 4  $[mm]$  de diámetro y una cantidad de agua de 5  $[\mu l]$  (RMC inicial de 277.7%), el secado utilizando el circuito comercial 4  $[mm]$  de diámetro y una cantidad de agua de 5  $[\mu l]$  (RMC inicial de 277.7%), el secado del circuito comercial con la muestra cuadrada de 81  $[mm^2]$  y una cantidad de agua de 10  $[\mu l]$  (RMC de 561.79%) por último el circuito comercial con la muestra de 81  $[mm^2]$  y una cantidad de agua de 30  $[\mu l]$  (RMC de 1685.39%).

### 4.1. Escala de Likert

En la Figura 4.3 se aprecian las 6 preguntas que se realizaron en la encuesta en donde 51 personas vieron un video de youtube (Valdez, 2021) en el cual se puso a prueba el lavado por ultrasonido para saber la percepción de las personas ante el lavado por ultrasonido con la metodología anteriormente planteada en la Figura 3.1.

Con el software de IBM SPSS Statistics 26 se calculó la fiabilidad de Cronbach como se muestra en la Tabla 4.1 lo cual indica que el estudio es bueno ya que el  $\alpha$  de Cronbach es mayor a 0.8.

Tabla 4.1: Alfa de Cronbach.

Estadísticas de confiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basado en los ítems estandarizados	Número de ítems
0.821	0.817	6

Con el Alfa de Cronbach nos queda claro que la evaluación de la percepción del ultrasonido de las personas es en general bien recibido, pero esta encuesta se realizó para evaluar la variable de

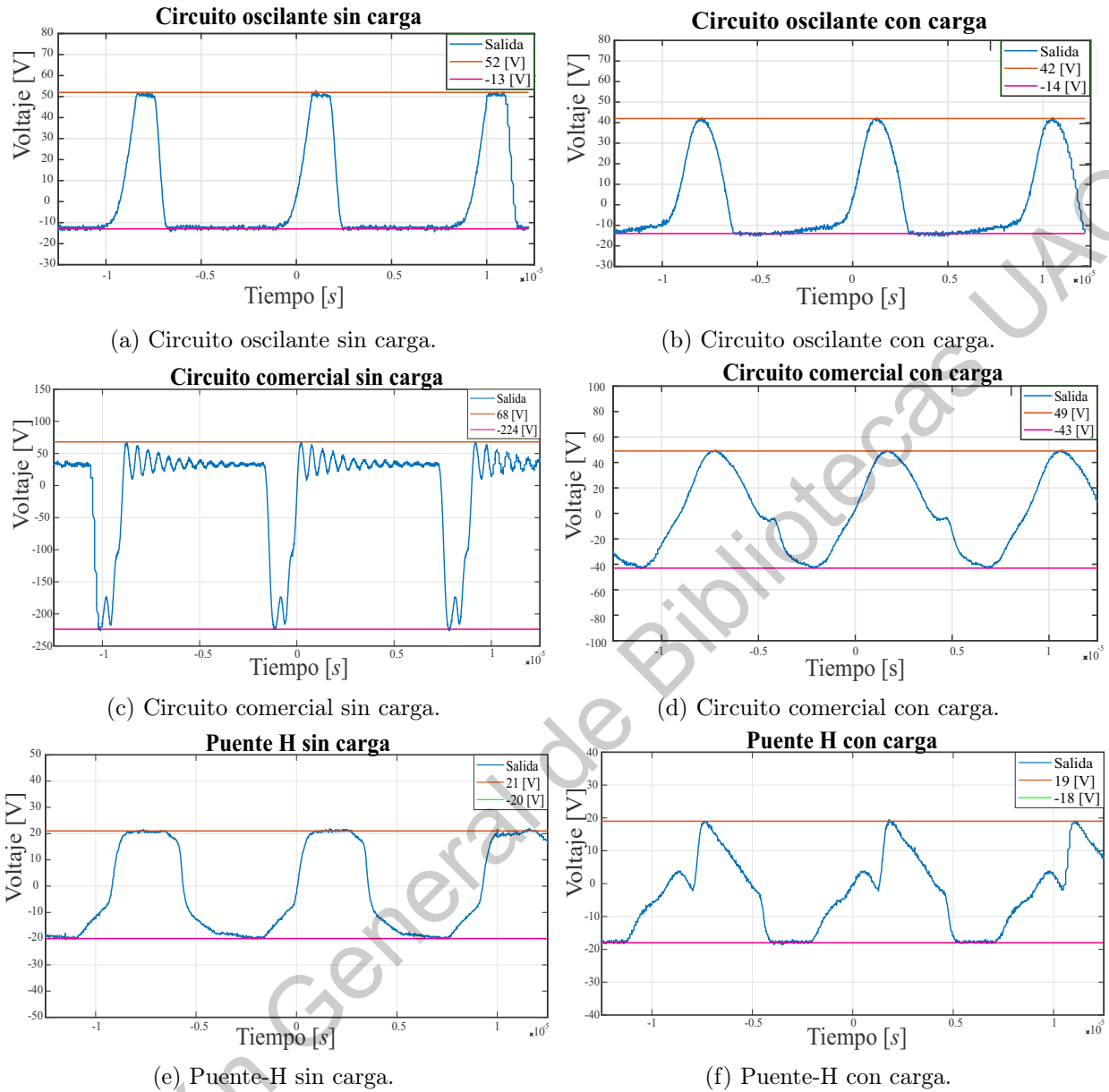


Figura 4.1: Señales de los circuitos resonantes.

reducción de manchas en la ropa lo cual corresponde a la pregunta 1 que se puede observar en la Figura 4.3a en donde de las 51 personas que realizaron la encuesta el 31% considera que el lavado por ultrasonido si elimina las manchas. Las características que se muestran en la siguiente Tabla 4.2 indica que en promedio tomando la escala de Likert la personas consideran como neutro (media  $\approx 3$ ) la eliminación de las manchas de la ropa utilizando el lavado por ultrasonido. Como dato adicional en la encuesta realizada se planteó la pregunta de ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por el producto de lavado por ultrasonido lo cual arrojó la siguiente información mostrada

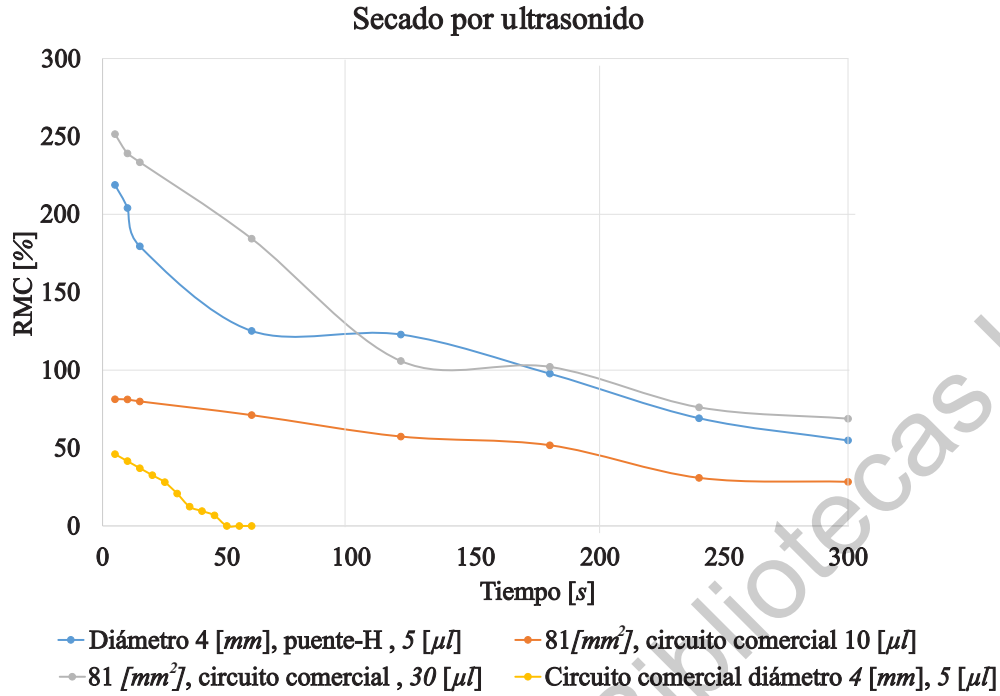


Figura 4.2: Gráficas de secado por ultrasonido.

Tabla 4.2: Estadísticas de la pregunta 1.

¿Consideras que el lavado por ultrasonido elimina las manchas?	
Media	2.98
Desviación estandar	1.01
Varianza	1.002
Error estandar de la media	0.141

en el histograma de la Figura 4.4 en el cual la media indica que estarían dispuesto a pagar \$939.20 pesos MXN.

## 4.2. Resultados

mabe

En esta subsección se expondrán los resultados que se lograron en Mabe TyP como formación dual, se exponen las ideas, pruebas, prototipos, MVPs, colaboraciones con otros departamentos de Mabe TyP resultados que formaron parte de la formación dual.

### 4.2.1. Matriz

de

Pugh

Se desarrollo una actividad llamada matriz de Pugh la cual es una herramienta cuantitativa que permite comparar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional (una matriz de decisiones). En este ejercicio evaluaron 7 conceptos (productos del mercado) con el concepto de

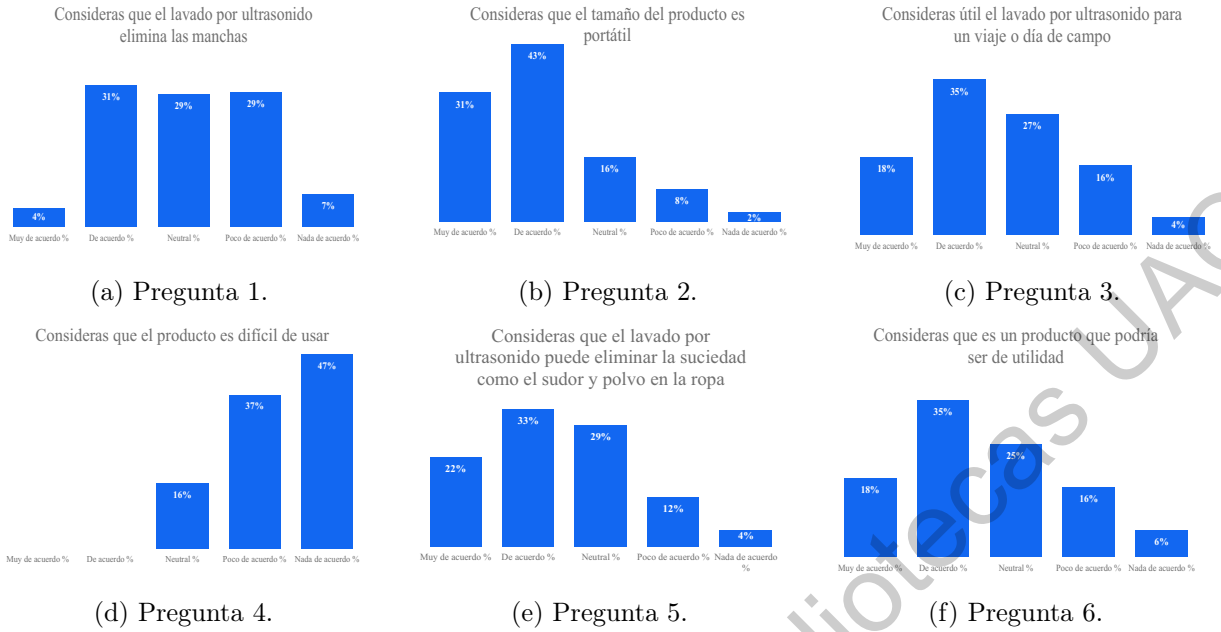


Figura 4.3: Preguntas de escala de Likert.

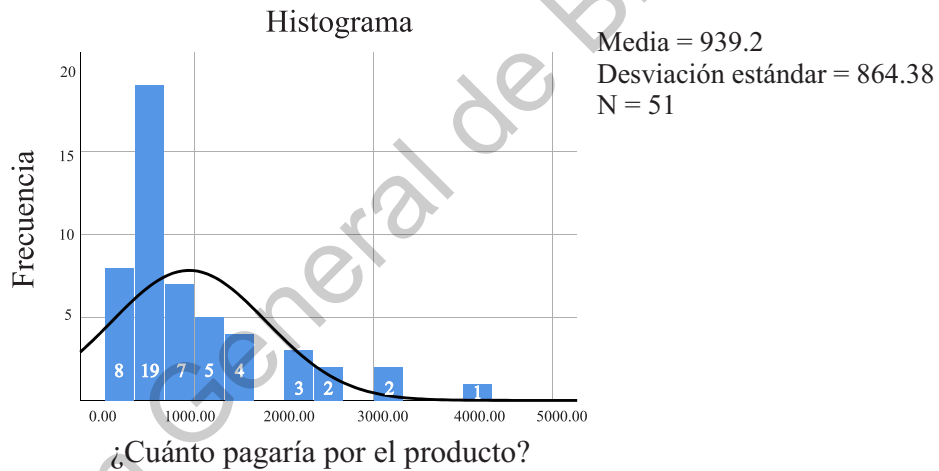


Figura 4.4: Histograma de precio dispuesto a pagar por los clientes.

“runny” el proyecto de lavado y secado por ultrasonido. Los criterios evaluados fueron:

- Portabilidad (5 puntos).
- Quitar malos olores (5 puntos).
- Durabilidad (3 puntos).
- Secado rápido (5 puntos).
- Desinfección (3 puntos).
- lavado (3 puntos).

Dichos conceptos constaban de productos como minilavadoras, secadoras de flujo de aire caliente con lámparas ultravioleta para desinfección, productos manuales como “Scrubba wash bag” y lavadoras por ultrasonido portátil. De las cuales la matriz de pugh (Figura 4.5 indica que bajo los

criterios elejidos el concepto número siete es el que tuvo una mayor puntuación seguido de el concepto uno y el seis.

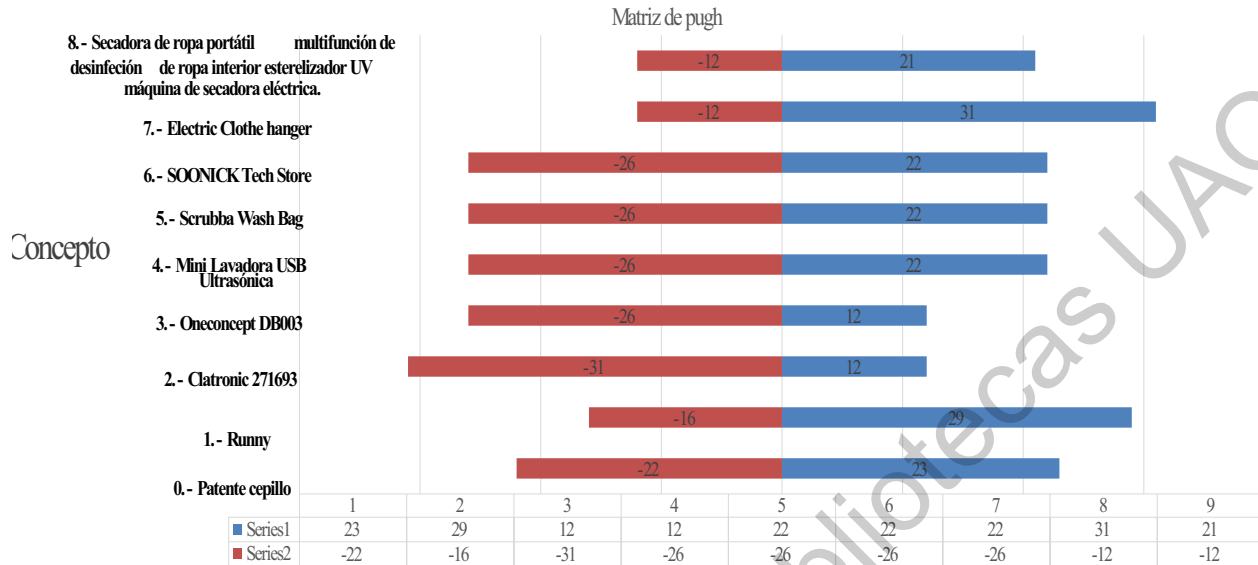


Figura 4.5: Matriz de pugh *runny*.

#### 4.2.2. Prueba de productos comerciales

Se adquirió la secadora de gancho Figura 4.6a la cual cuenta con tres ciclos flujo de aire: lento, flujo de aire rápido y flujo de aire rápido más calor, tiene duración de ciclo de 1 a 4 horas y opera de 110 [V] a 240 [V]. También se consiguió la lavadora por ultrasonido para evaluar su funcionalidad, la lavadora por ultrasonido se evaluó con la escala de Likert mientras que la secadora de gancho se evaluó en un cuarto a una temperatura controlada de 20[°C] a 30% [RH] y para calcular el RMC se usa la ecuación 2.2.

La prueba como se muestra en la Figura 4.6b consiste en someter una playera deportiva (90% poliéster y 10% algodón) a los tres ciclos de la secadora de gancho y en dos voltajes 127 V y 240 V. En la Figura 4.7 se puede observar la gráfica de secado que se obtiene a partir de usar un voltaje de 127 [V] con el flujo de aire lento (ciclo 1), con un flujo de aire rápido (ciclo 2) a 127 [V], con un flujo de aire rápido con el calefactor activado a 127 [V] (ciclo tres) y a un voltaje de 240 [V] a velocidad de flujo rápido con el calefactor activado (ciclo 3).

#### 4.2.3. Conceptos de *runny* obtenidos

Tras analizar el estado del arte, probar algunos productos comerciales y en colaboraciones de lluvias de ideas, sprint de innovación, la matriz de pugh, colaboración con propeland y los pasos de la metodología *first build* 2.9. Se lograron 6 conceptos de *runny* que se muestran en la Figura 4.8 de los cuales se tomaron dos conceptos para realizar el que lleva por nombre *mini care* y *Violet*. El concepto de *mini care* consta de una mini centrifugadora con 4 ciclos automáticos los cuales son:



(a) Secadora de gancho.



(b) Prueba de la secadora de gancho.

Figura 4.6: Pruebas de la secadora de gancho.

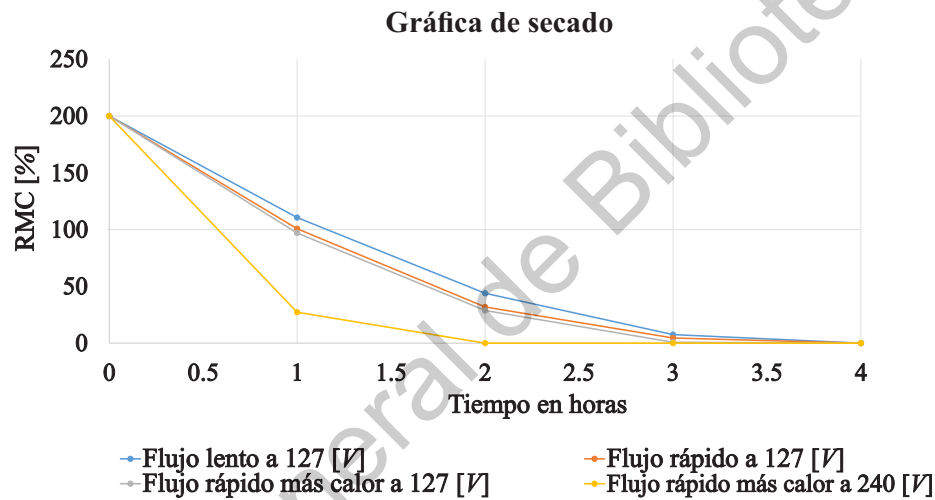


Figura 4.7: Gráfica de la secadora de gancho.

- Quitar malos olores
- Desinfección
- Secado rápido
- Aromatizar

Cuenta con las ventajas de ser percibido como una solución otorgada por hoteles y gimnasios, que su tamaño es compacto, como tiene una forma conocida genera mayor confianza en los usuarios y que puede ser usado no solo para ropa si no también para calzado y otros artículos.

Por otra parte sus desventajas son: que los usuarios no lo perciben como una solución personal, que la capacidad es limitada (pequeñas cantidades de ropa, calzado o artículos) y por último que le ven poca utilidad en el hogar.



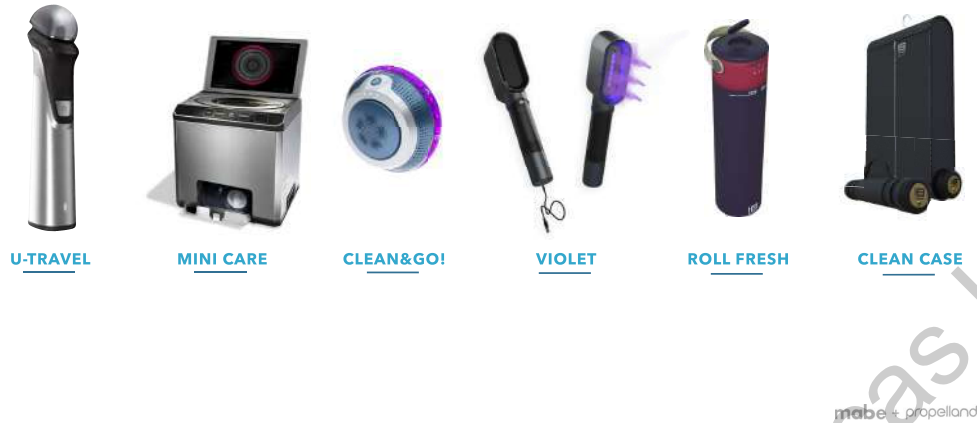


Figura 4.8: Conceptos obtenidos (propiedad de Mabe).



Figura 4.9: Conceptos *mini care* (propiedad de Mabe).

#### 4.2.4. Simulaciones de *mini care*

La simulación de los 4 ciclos para *mini care* se realizaron con ayuda del software Proteus se realizó la simulación de los ciclo de la centrifugadora con los siete botones (inicio, start/pausa, secado, desinfección, deodoración, aire caliente y aromatizado). La programación listada A.1 se simuló con este mismos software lo cual es de gran ayuda para probar todas las combinaciones posibles de los botones y que funcione correctamente la programación. En la Figura 4.10 se puede observar la simulación en el software proteus en donde la interfaz para el usuario es por medio de los botones.

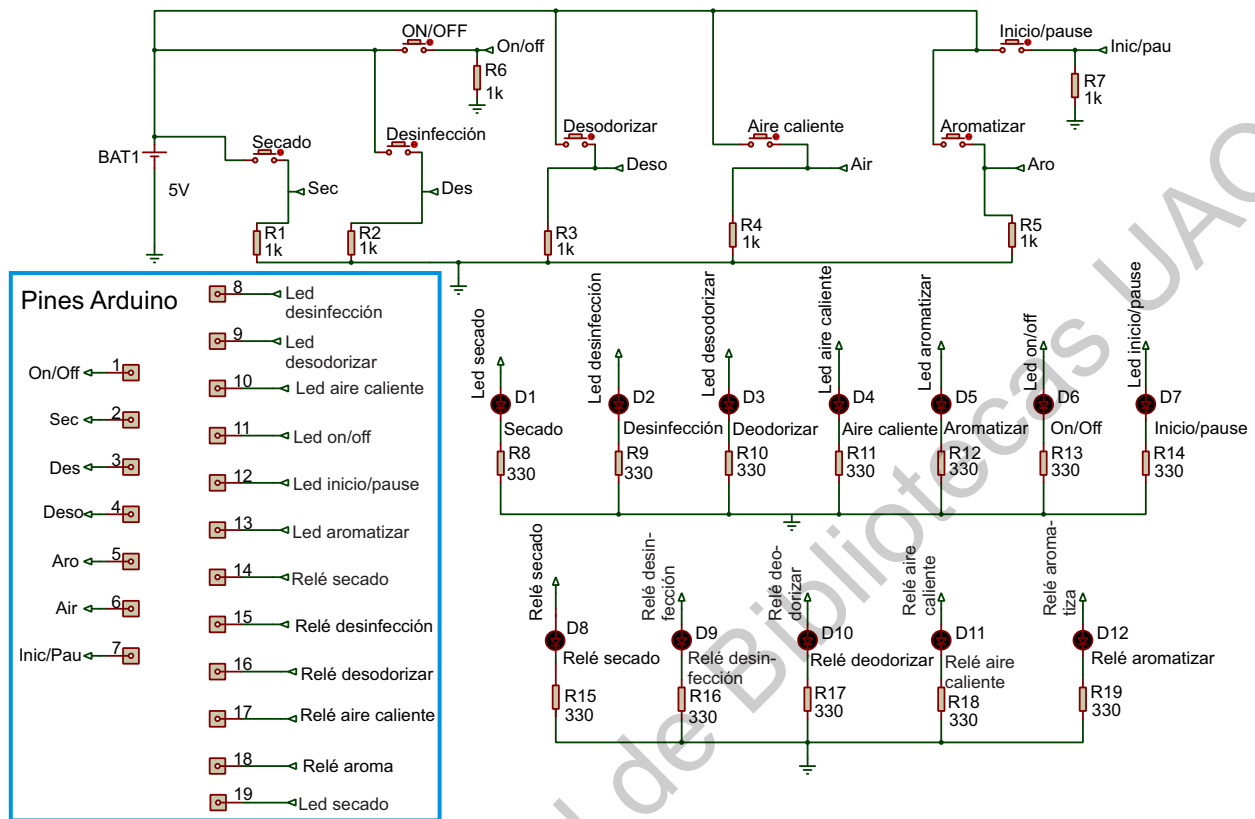


Figura 4.10: Simulación de ciclos de *mini care*.

#### 4.2.5. Dibujo en SolidWorks de la secadora por ultrasonido

Se realizó el dibujo del prototipo de la secadora por ultrasonido previamente en SolidWorks como se observa en la Figura 4.11.



Figura 4.11: Dibujo de la secadora ultrasonica en SolidWorks.

#### 4.2.6. Simulación física de *mini care*

Una vez probadas las simulaciones se procedió a realizar las pruebas de forma física en el caso de la secadora centrifuga (*mini care*) en la Figura 4.12, se realizó la simulación de las pruebas físicas con ayuda de un Arduino, botones y led para identificar las señales y activaciones de operaciones.

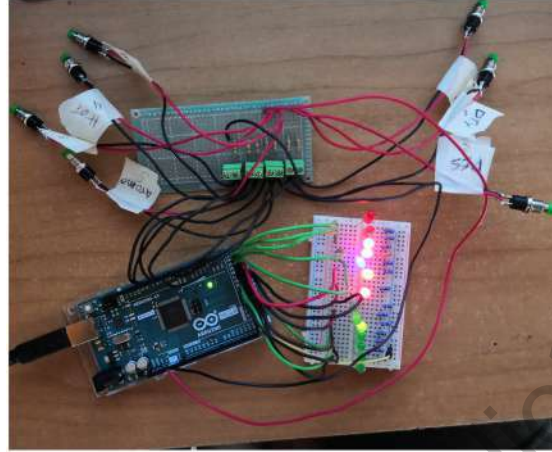


Figura 4.12: Simulación física de ciclos de *mini care*.

#### 4.2.7. *Mini care* versión 1

Se logró la primera versión de *mini care* Figura 4.13 con 4 ciclos secado por medio de centrifugado, quitar malos olores por medio de ozono, aromatizado por medio de un flujo de aire con aroma y desinfección por luz ultravioleta en conjunto con el ozono los cuales por separado y juntos logran la desinfección.

#### 4.2.8. Pruebas a *mini care* versión 1

En la siguiente Tabla 4.3 se examinó la remoción de humedad de la secadora por centrifugadora que tiene una velocidad de 3200 RPM. Realizada a una camisa deportiva mediana 90 % poliéster y 10 % algodón, a una camisa mediana de 100 % algodón y una toalla de mano (784 [cm<sup>2</sup>]) de 100 % algodón. Los resultados en el ciclo de centrifugado el cual dura 5 minutos muestran que las 3 prendas después de 2 ciclos (10 minutos) se quedan con una humedad residual total de 13.6 %.

Tabla 4.3: Porcentaje de humedad del centrifugado.

Artículo	Peso seco [kg]	Peso mojado [kg] prueba 1	Porcentaje de humedad [%]	Peso después de centrifugado [kg]	Porcentaje de humedad después del centrifugado [%]	Peso después del segundo centrifugado [kg]	Porcentaje de humedad después de la segunda iteración [%]
Camisa deportiva	0.132	0.372	181.81	0.146	10.60	0.146	10.60
Toalla de mano	0.034	0.114	235.29	0.04	17.64	0.038	11.76
Camisa de algodón	0.128	0.336	162.5	0.154	20.31	0.15	17.18
Total	0.294	0.822	179.59	0.34	15.64	0.334	13.60



Figura 4.13: *Mini care* versión 1 completo.

En una segunda iteración en la Tabla 4.4 se humedece la ropa con una humedad un poco mayor a la anterior pero se somete a un solo ciclo (5 minutos) y se puede contemplar que la remoción de humedad total es de 14.28. %

Tabla 4.4: Porcentaje de humedad del centrifugado con diferente humedad.

Artículo	Peso seco [kg]	Peso mojado [kg]	Porcentaje de humedad	Peso después del centrifugado [kg]	Porcentaje de humedad después del centrifugado [%]
camisa deportiva	0.132	0.378	186.36	0.142	7.57
Toalla de mano	0.034	0.126	270.58	0.04	17.64
Camisa de algodón	0.128	0.434	239.06	0.154	20.31
<b>Total</b>	<b>0.294</b>	<b>0.938</b>	<b>219.04</b>	<b>0.336</b>	<b>14.28</b>

#### 4.2.9. Secadora por ultrasonido

Se construyó un prototipo de una secadora con transductores ultrasonicos adaptando seis transductores a seis piezoeléctricos a una “plancha de cabello”. En la Figura 4.22a se empiezan a acomodar los piezoeléctricos a la plancha. Posteriormente a este misma placa se le realizan unos agujeros con una broca de  $\frac{1}{8}$  por donde saldrá el agua en forma de neblina fría del transductor

Figura 4.22b, al igual que unos agujeros al chasis Figura 4.22c.

En la siguiente Figura 4.15 se tiene la adaptación de los piezoeléctrico con sus respectivos transductores completos en el chasis de la “plancha de cabello”.



(a) Adaptar piezoeléctricos a plancha.



(b) Agujeros en placa de plancha para los piezoeléctricos.



(c) Agujeros en carcasa de plancha para los piezoeléctricos.

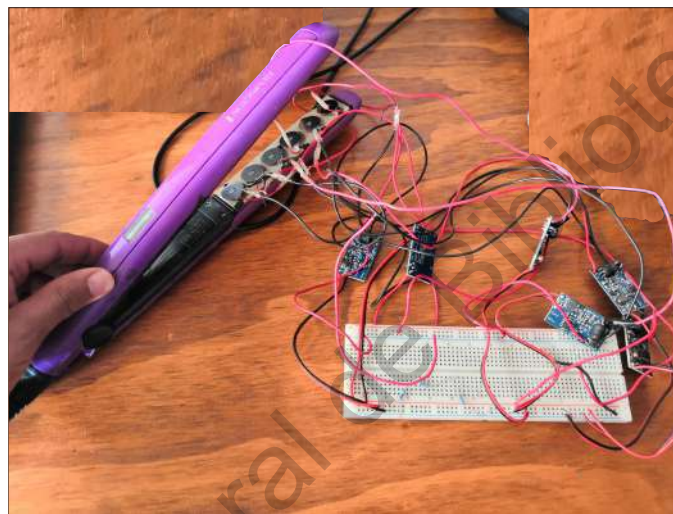


Figura 4.15: Plancha con transductores y piezoeléctrico adaptados.

El diseño realizado en SolidWorks se logró realizar en físico y se le realizaron pruebas de expulsión de agua de una prenda, como se puede observar en la Figura 4.16. Estas pruebas y diseño se realizaron con fines de concepto ya que se tiene la idea que para aumentar el area de secado por ultrasonido la única forma es colocando varios transductores piezoeléctricos.

#### 4.2.10. Concepto

*violet*

El concepto de *violet* es un producto compacto que puede viajar en un bolso o mochila, eliminar olores no deseados y higienizar áreas específicas de las prendas sin necesidad de retirarlas del cuerpo. Usa Led UV para la desinfección, transductores piezoeléctricos para la expulsión del aromatizante líquido y una batería recargable para su portabilidad.

Su principal ventaja es su portabilidad ya que cuenta con batería recargable y los usuarios pueden cargarlo en el bolsillo o mochilas, es multifuncional ya que además de higienizar la ropa se puede desinfectar objetos y superficies de uso cotidiano otra de sus ventajas es que sirve para desodorizar agregando aromas.



Figura 4.16: Secadora por ultrasonido.



Figura 4.17: Concepto *violet* (propiedad de mabe).

Por el contrario su desventaja es la duración de la batería ya que es molesto para los usuarios estarlo recargando constantemente tras pocos ciclos de uso. Otra de sus desventaja es que por su portabilidad existe la latente activación no deseada del dispositivo.

En la Figura 4.18a se observa la primera versión de *violet* impresa en 3D, este prototipo consta de seis led UV clase A y tres piezoeléctricos Figura 4.18b, para la expulsión de liquido desinfectante a neblina fría la cual se encuentra depositada por debajo de estos en el cilindro, constaba de un botón enclavado para encenderlo y otro para bloqueo. Esta primera versión tiene la desventaja que el liquido se infiltraba y empezó a gotear por diversas partes como por la parte de los leds, por parte de los piezoeléctricos, se infiltraba el agua a la tarjeta electrónica y el tamaño era muy grande para una sola mano. Por lo anterior mencionado se realizo un versión 2 la cual utilizó como base un producto comercial al cual se le realizaba una impresión 3D para colocar los led UV el cual se

muestra en la Figura 4.19.



(a) Impresión de *violet*.



(b) *Violet* impreso en 3D.

Figura 4.18: *Violet* en impresión 3D.



(a) *Violet* versión 2 apagado.



(b) *Violet* versión 2 encendido.

Figura 4.19: *Violet* versión 2.

#### 4.2.11. Publicaciones y logros académicos

A continuación se enlistan los productos y logros obtenidos cuya documentación se muestra en la sección de Anexos.

1. Revisión titulado: “Revisión de tecnologías para el lavado, secado y desinfección de ropa”. En proceso de publicación en revista *Prespectivas de la Ciencia y la Ingeniería* 2020 en su siguiente volumen Figura A.1.
2. Ponencia “Revisión de tecnologías para el lavado, secado y desinfección de ropa”. En el 14° Coloquio de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería. El día 19 de noviembre del 2020 Figura A.2.

3. Participación como Asistente en el 14° Coloquio de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Los días 18, 19 y 20 de noviembre del 2020 Figura A.3.
4. Reconocimiento por la participación con el trabajo titulado: “Monitoreo a distancia de intensidad de luz basado en fotodiodo para la adquisición de datos en tiempo real”, en el marco del 19° Congreso Nacional de Mecatrónica. Los días 3 y 4 de Diciembre del 2020 Figura A.4.
5. Participación como organizador en el 13° Coloquio de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Los días 20,21 y 22 de noviembre del 2019 Figura A.5.
6. Profesor de clases de propedéuticos enero del 2020, impartiendo la clase de física Figura A.7.
7. Ponencia en el Congreso Internacional de Acuaponia 2019 en Bogotá, Colombia el 24 de Octubre de 2019 Figura A.6

#### 4.2.12. *Minicare* versión 2 2

La versión 2 de *minicare* Figura 4.20 se realizó con la retroalimentación de la primera versión lo cual es lo que se busca con la metodología *first build* Figura 2.9, se cambio de centrifugadora solo por costos pero con las mismas velocidad de 3200 RPM. Tiene una diferencia de altura de 13 [cm], siendo la altura de la versión 2 de 53 [cm] la canastas tienen prácticamente el mismo diámetro (25 [cm]). Al probar el RMC Tabla 4.5 los resultados eran muy parecidos entre las dos centrifugadoras.



Figura 4.20: *Minicare* versión 1 (negro) y versión 2 (blanco).

La segunda versión Figura 4.21 tiene tres ciclos que constan de ozono para desinfección y eliminación de malos olores, el centrifugado para el secado y un flujo de aroma. Adicionalmente esta versión 2 se somete a seis puntos de seguridad que el departamento de seguridad designo para que dicho MVP pueda probarse en hoteles y gimnasios por usuarios para garantizar su seguridad. Los puntos de seguridad constan en la Norma Oficial Mexicana (NOM) de las cuales cinco son NOM y una prueba de seguridad interna son los siguientes:



Tabla 4.5: Porcentaje de humedad de *mini care* versión 2

Artículo	Peso seco [kg]	Peso mojado [kg]	Porcentaje de humedad	Peso después del centrifugado [kg]	Procentaje de humedad después del centrifugado [% ]
camisa deportiva	0.132	0.418	216.66	0.147	11.36
Toalla de mano	0.034	0.146	329.41	0.042	23.52
Camisa de algodón	0.128	0.484	278.12	0.154	25.78
<b>Total</b>	0.294	1.048	256.46	0.343	16.66

- Protección contra accesibilidad en partes vivas (NOM-003-SCFI-2014, Productos eléctricos-Especificaciones de seguridad. Apéndice E NMX-J-524/1-ANCE).
- Corriente de fuga y rigidez dieléctrica a temperatura de operación (NOM-003-SCFI-2014, Productos eléctricos-Especificaciones de seguridad. Apéndice E NMX-J-521/1-ANCE).
- Resistencia a la humedad (escurrimiento) (NOM-003-SCFI-2014, Productos eléctricos-Especificaciones de seguridad. Apéndice E NMX-J-521/1-ANCE).
- Estabilidad y riesgos mecánicos (NOM-003-SCFI-2014, Productos eléctricos-Especificaciones de seguridad. Apéndice E NMX-J-521/1-ANCE).
- Provisión para puesta a tierra (NOM-003-SCFI-2014, Productos eléctricos-Especificaciones de seguridad. Apéndice E NMX-J-005-ANCE).
- Prueba de seguridad interna forzar falla de canasta.

De los seis puntos de seguridad se pasaron cinco con excepción de una prueba de seguridad interna la cual es una prueba que consta de cortar la canasta hasta poco a poco hasta que se rompa (se rompió al 98 % ) y se le coloca carga (algodón mojado) para provocar que la canasta se rompa y observar lo que sucede en dicha prueba destructiva.

Esta prueba no la paso por que no se debe perder la vertical del producto (no se debe caer), al momento del impacto de la canasta no debe de salir ningún objeto disparado hacia el exterior y no debe de tener ningún riesgo de descarga eléctrica después del impacto. Esta prueba es muy estricta y aunque la posibilidad de que suceda ese evento es demasiado baja no fue aprobado para mandar el equipo por lo que la solución factible que se le dio fue que se operara con supervisión y con unos cinturones de seguridad soldados en la canasta, ya que en esta etapa de la metodología aun se encuentra en la recopilación de datos y obtener una retroalimentación que ayudara a mejorar el producto.

#### 4.2.13. Interfaz para el usuario

Una interfaz que se logró fue la activación de los tres ciclos del *mini care* por medio de una aplicación la cual se conecta al servidor *blynk* una vez conectado se establece la conexión entre el usuario y el dispositivo para activar los tres ciclos programados los cuales son: Iniciar centrifugado,



Figura 4.21: *Minicare* versión 2 final.

encender ozono y encender aroma. Cuenta con un pequeño display que da la “bienvenida” así como la muestra del porcentaje del proceso hasta que se finaliza el proceso. El propósito de dicha aplicación no es el controlar el *mini care*, el principal propósito es ir buscando la forma de que los productos sean más llamativos para los usuarios, tratar de ofrecer servicios, obtener retroalimentación de uso y asuntos por este estilo si bien en esta iteración solo se limita al control es el primer paso para trabajos futuros.

### 4.3. Trabajos

futuros

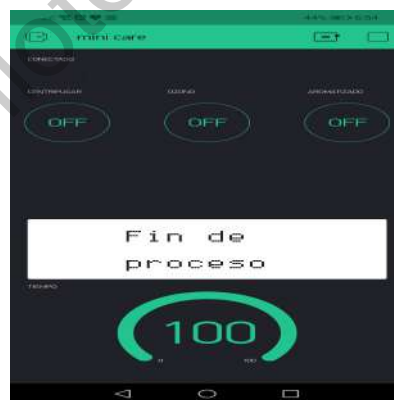
- Analizar la eliminación de malos olores por medio del ozono.
- Analizar el mejor tiempo del ciclo para el secado y el aromatizado.
- Aplicación para ofrecer un servicio a los usuarios así como obtener información sobre los dispositivos.
- Lanzamiento de los primeros 10 *mini care* al mercado para obtener retroalimentación de usuarios.



(a) Inicio del la aplicación.



(b) Proceso del ciclo.



(c) Fin del proceso.

Figura 4.22: Aplicación de la interfaz de usuario.

---

## Conclusión

El presente trabajo mostró una forma de modular la frecuencia por medio de un FPGA para activar un transductor piezoeléctrico por medio de un puente-H, el FPGA puede tener mejores resoluciones de frecuencia a comparación de otros microcontroladores, adicionalmente el FPGA tiene la ventaja de controlar diversas salidas con igual modulación de frecuencia al mismo tiempo lo cual con una programación secuencial no podría lograrse, lo que quiere decir que el FPGA puede manejar varios transductores piezoeléctricos en paralelo lo cual permitiría aumentar el área de secado.

Con la Figura 4.1 se concluye que ocurre una deformación en la onda una vez que se somete a la carga en la activación de los transductores. Con respecto al secado que se muestra en la Figura 4.2 se concluye que el puente-H tiene un menor desempeño a comparación con el circuito comercial (a la misma cantidad de agua y tamaño de muestra), se logró identificar el circuito comercial como un inversor clase E.

También se observa en la gráfica de secado por ultrasonido Figura 4.2 que en los primeros cinco segundos de ultrasonido se remueve la mayor cantidad de humedad, posterior a esos 5 segundos la remoción de agua es mucho menor, también se puede notar que entre mayor humedad en la ropa ( $9 [mm^2]$  y  $30 [\mu l]$ ) mayor la remoción de agua. La disminución de remoción indica que el efecto del ultrasonido es menos eficiente por debajo de alrededor del 100 % de RMC, de igual forma se observa que disminuye el desempeño cuando la muestra aumenta de tamaño. De igual forma pareciera ser que con un mayor tamaño de transductor piezoeléctrico se lograría el secado de ropa por ultrasonido.

La escala de Likert es una herramienta que nos permite obtener una respuesta con encuestas simples. En este trabajo esta herramienta revela que la percepción del lavado por ultrasonido realizada a través de 6 preguntas revela que al realizar el alfa de Cronbach este da un valor de 0.821 lo que indica que la encuesta da resultados confiables. De esta encuesta la pregunta de interés es la eliminación de manchas la cual al sacar el promedio Tabla 4.2 arroja que las personas lo perciben como neutro, es decir, que no están de acuerdo ni en desacuerdo, de que el lavado elimine las manchas ante el experimento planteado.

En este trabajo, se realizaron validaciones integrales por medio de la metodología de *first build* en donde evaluamos los MVPs. Integrando las validaciones antes mencionadas, los resultados la matriz de Pugh, así como con la colaboración con la empresa de Propelan y las pruebas desarrolladas con equipos de trabajo internos en Mabe TyP, se concluye que la hipótesis planteada es rechazada.

Los resultados mostraron que las variables de interés para los usuarios son la desinfección de ropa y la eliminación de malos olores y no las planteadas al inicio del proyecto las cuales son el secado rápido y el eliminar las manchas de la ropa. Cabe mencionar que los resultados de las variables planteadas en un principio de interés, resultaron con un valor neutro respecto a lavado por ultrasonido empleando la escala de Likert. Además, mediante los MVPs validados, se lograron zonas de secado por ultrasonido de apenas cuatro milímetros de diámetro, lo que resultó no ser favorable para la aplicación.

La metodología de *first build* es una metodología ágil que ayuda a obtener información importante ante cada iteración de los MVPs realizados al combinarla con la investigación ayuda a crear conceptos que en la formación dual se logro junto con Mabe TyP y propeland con los cuales se obtuvieron 6 conceptos de los cuales 2 se implementaron en este trabajo de tesis los cuales de acuerdo a la metodología de *first build* Figura 2.9 se logró tener un par de MVPs.

Dicho MVPs se encuentra en los pasos de desarrollo validando los conceptos con usuarios internos y realizando validaciones integrales. El concepto de *mini care* logra a los 5 minutos que la ropa se quede con menos del 15% de RMC y el concepto de *violet* logra ser portátil y llamar la atención por su operación y desinfección no solo de ropa si no de superficies que por la actual pandemia que esta pasando el mundo desde febrero del 2020 hasta el momento de la conclusión de este trabajo es un tema de gran interés.

De la interfaz para el usuario, se lograron dos propuestas. Una que consta de botones manuales en el *mini care* y otra interfaz de usuario a través de IoT, la segunda interfaz es un trabajo que a futuro busca ofrecer un servicio a los usuarios así como tener datos de uso de los productos desarrollados en el área de *first build*.

Por último aunque este trabajo haya iniciado partiendo del lavado y secado de ropa por ultrasonido y se haya logrado obtener información de estas tecnologías, la investigación sirvió para colaborar con la industria a la creación de los conceptos obtenidos y realizados, lo cual es un resultado de la metodología *first build*, la cual muchas veces puede iniciarse con una idea pero a través de las iteraciones se va obteniendo información que ayuda a la creación de un MVP de interés para los usuarios.

---

# Bibliografía

Al-Hasan, K. J. (2016). Portable drier for personal articles. US Patent 9,322,124.

Alänge, S. & Steiber, A. (2018). Three operational models for ambidexterity in large corporations. *Triple Helix*, 5(1), 1–25.

Aliexpress (2020a). Tarjeta para transductores. recuperado 2 de diciembre de 2020, de internet: [https://es.aliexpress.com/item/32978920190.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.23114361IwNYzX&algo\\_pvid=a27172cd-37ce-41ae-8794-12683fb62de7&algo\\_expid=a27172cd-37ce-41ae-8794-12683fb62de7-45&btsid=0ab6f82415872579704513080e14e0&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_,searchweb201603](https://es.aliexpress.com/item/32978920190.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.23114361IwNYzX&algo_pvid=a27172cd-37ce-41ae-8794-12683fb62de7&algo_expid=a27172cd-37ce-41ae-8794-12683fb62de7-45&btsid=0ab6f82415872579704513080e14e0&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603).

Aliexpress (2020b). Transductor. recuperado 2 de diciembre de 2020, de internet: [https://es.aliexpress.com/item/4000430009363.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1e495301zqTK2q&algo\\_pvid=7832dcf0-e743-4039-8026-656bb2c9b197&algo\\_expid=7832dcf0-e743-4039-8026-656bb2c9b197-13&btsid=0be3769015872553800196326e38b6&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_,searchweb201603\\_](https://es.aliexpress.com/item/4000430009363.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.1e495301zqTK2q&algo_pvid=7832dcf0-e743-4039-8026-656bb2c9b197&algo_expid=7832dcf0-e743-4039-8026-656bb2c9b197-13&btsid=0be3769015872553800196326e38b6&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_).

Aliexpress (2021). Soonick-limpiador ultrasónico portátil s3, limpieza de baños digital, fruta, vajilla para verduras, ultra soinc, limpiadores para viajes, cocina. recuperado 20 de marzo de 2021, de internet: [https://es.aliexpress.com/item/4000643040791.html?spm=a2g0o.detail.1000014.4.129214far9s2ue&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.14976.157518.0&scm\\_id=1007.14976.157518.0&scm-url=1007.14976.157518.0&pvid=94313dd0-0609-41a8-bf1f-db4baa3be2d4&\\_t=gps-id:pcDetailBottomMoreOtherSeller,scm-url:1007.14976.157518.0,pvid:94313dd0-0609-41a8-bf1f-db4baa3be2d4,ttp\\_buckets:668%230%23131923%2320\\_668%23808%234094%23179\\_668%23888%233325%231\\_4976%230%23157518%230\\_4976%232711%237538%23225\\_668%232717%237558%23187](https://es.aliexpress.com/item/4000643040791.html?spm=a2g0o.detail.1000014.4.129214far9s2ue&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.14976.157518.0&scm_id=1007.14976.157518.0&scm-url=1007.14976.157518.0&pvid=94313dd0-0609-41a8-bf1f-db4baa3be2d4&_t=gps-id:pcDetailBottomMoreOtherSeller,scm-url:1007.14976.157518.0,pvid:94313dd0-0609-41a8-bf1f-db4baa3be2d4,ttp_buckets:668%230%23131923%2320_668%23808%234094%23179_668%23888%233325%231_4976%230%23157518%230_4976%232711%237538%23225_668%232717%237558%23187).

Alldatasheet (2020a). Mosfet irlz44n. recuperado 2 de diciembre de 2020, de internet: <https://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/68872/IRF/IRLZ44N.html>.

Alldatasheet (2020b). Temporizador 555. recuperado 2 de diciembre de 2020, de internet: [https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ne555&gclid=Cj0KCQiAk53-BRDOARIsAJuNhptNTVVvTqFP8Fm\\_1WeuS4kcj2ijkt9F46ZsvoNoyIOabQaaZ2eAKc4aAnNIEALw\\_wcB](https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ne555&gclid=Cj0KCQiAk53-BRDOARIsAJuNhptNTVVvTqFP8Fm_1WeuS4kcj2ijkt9F46ZsvoNoyIOabQaaZ2eAKc4aAnNIEALw_wcB).

Amazon (2020a). Aromatizador portatil. recuperado 2 de diciembre de 2020, de internet: <https://www.amazon.com.mx/Portable-Rechargeable-Bladeless-Conditioning-Refrigeration/>

- dp/B07233BCC3/ref=sr\_1\_2?\_\_mk\_es\_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=mini+air+conditioning+fan&qid=1606343101&sr=8-2.
- Amazon (2020b). Lampara uv. recuperado 2 de diciembre de 2020, de internet: ,[https://www.amazon.com.mx/germicida-Ultravioleta-esterilizaci%C3%B3n-UV-esterilizador/dp/B085S8743C/ref=sr\\_1\\_14?\\_\\_mk\\_es\\_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=luz+uv+ozono&qid=1606343006&sr=8-14](https://www.amazon.com.mx/germicida-Ultravioleta-esterilizaci%C3%B3n-UV-esterilizador/dp/B085S8743C/ref=sr_1_14?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=luz+uv+ozono&qid=1606343006&sr=8-14).
- Amazon (2020c). Secadora centrifuga. recuperado 2 de diciembre de 2020, de internet: ,[https://www.amazon.com.mx/Panda-3200RPM-giratorio-port%C3%A1til-inoxidable/dp/B073SCW22S/ref=sr\\_1\\_1?\\_\\_mk\\_es\\_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=secadora%2Bcentrifuga%2Bpanda&qid=1606921407&sr=8-1&th=1](https://www.amazon.com.mx/Panda-3200RPM-giratorio-port%C3%A1til-inoxidable/dp/B073SCW22S/ref=sr_1_1?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=secadora%2Bcentrifuga%2Bpanda&qid=1606921407&sr=8-1&th=1).
- Bellis, M. (2019). A brief history of washing machines. recuperado 1 de septiembre de 2020, de thoughtco ,<https://www.thoughtco.com/history-of-washing-machines-1992666>.
- Bertram, D. (2007). Likert scales. *Retrieved November, 2(10)*.
- Braun, J., Bansal, P., & Groll, E. (2002). Energy efficiency analysis of air cycle heat pump dryers. *International Journal of refrigeration*, 25(7), 954–965.
- Cano Guerra, R. N. (2018). Plan de negocios para la creación de una microempresa de lavandería en el sector de mucho lote de la ciudad de guayaquil. B.S. thesis, Guayaquil: ULVR, 2018.
- Cheeke, J. D. N. (2017). *Fundamentals and applications of ultrasonic waves*. CRC press.
- Chica Loor, F. X., Guerra Williams, C. E., Pinela Chica, P. C., & Villacreses Villacreses, L. S. (2013). *Construcción de una secadora de 40 kg. de capacidad para el hospital de el carmen, provincia de manabi*. PhD thesis, Universidad técnica de manabi facultad de ciencias matemáticas físicas y químicas carrera de ingeniería mecánica extensión de el carmen.
- Choi, J., Kim, T.-H., Kim, H.-Y., & Kim, W. (2016). Ultrasonic washing of textiles. *Ultrasonics sonochemistry*, 29, 563–567.
- Cnruihla (2020a). Bomba de aire. recuperado 2 de diciembre de 2020, de internet: ,[https://es.made-in-china.com/co\\_ruihuaele/product\\_Rh-77-Water-Treatment-Air-Pump\\_hrsgehy.html](https://es.made-in-china.com/co_ruihuaele/product_Rh-77-Water-Treatment-Air-Pump_hrsgehy.html).
- Cnruihla (2020b). Genarador de ozono. recuperado 2 de diciembre de 2020, de internet: ,[https://es.made-in-china.com/co\\_ruihuaele/product\\_Fw-120-Mini-12VDC-Ozone-Generator-for-Air-Purifier\\_euuyeeergg.html](https://es.made-in-china.com/co_ruihuaele/product_Fw-120-Mini-12VDC-Ozone-Generator-for-Air-Purifier_euuyeeergg.html).
- Cracknell, A. P. (1982). *Ultrasonidos*. Paraninfo,.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *psychometrika*, 16(3), 297–334.
- Cross, G. N. & Cross, T. S. (2005). Clothes dryer with ultraviolet light. US Patent 6,877,248.
- España, B. E. (2002). Información técnica secadoras. recuperado 7 de octubre de 2020, de internet: ,[http://www.hogar2000.es/descargas/00BSH\\_Secadoras.pdf](http://www.hogar2000.es/descargas/00BSH_Secadoras.pdf).

- Frías-Navarro, D. (2014). Apuntes de spss. *Universidad de Valencia*, (pp. 1–10).
- Gaitan, D. F. & Crum, L. A. (1990). *An experimental investigation of acoustic cavitation in gaseous liquids*. Technical report, NATIONAL CENTER FOR PHYSICAL ACOUSTICS UNIVERSITY MS.
- Gallego-Juarez, J. A., Riera, E., Acosta, V., Rodríguez, G., & Blanco, A. (2010). Ultrasonic system for continuous washing of textiles in liquid layers. *Ultrasonics sonochemistry*, 17(1), 234–238.
- George, D. & Mallery, P. (2003). *SPSS for windows step by step: A simple study guide and reference, 11.0 update, 4/e*. Boston: Allyn & Bacon.
- Gizmos, F. (2018). Type of washing machines. recuperado 1 de septiembre de 2020, de family gizmos ,<https://www.familygizmos.com/types-of-washing-machines/>.
- Gotoh, K. & Harayama, K. (2013). Application of ultrasound to textiles washing in aqueous solutions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(2), 747–753.
- Horowitz, N., Denkenberger, D., Mau, S., Calwell, C., & Wanless, E. (2011). Residential clothes dryers: A closer look at energy efficiency test procedures and savings opportunities. *Colorado: Natural Resources Defense Council*.
- Hurren, C., Cookson, P., & Wang, X. (2008). The effects of ultrasonic agitation in laundering on the properties of wool fabrics. *Ultrasonics sonochemistry*, 15(6), 1069–1074.
- Kapoor, B., Nolan, K., & Venkatahrishnan, N. (2017). How ge appliances built an innovation lab to rapidly prototype products. *Harvard Business Review Experimentation July*, 21, 2017.
- Katayama, M. & Sugihara, R. (2011). Which type of washing machine should you choose? *International Journal of Consumer Studies*, 35(2), 237–242.
- Llusca, F. C., Rengel, F. L., & Hidalgo, P. C. (2014). Diseño y construcción de un inversor multinivel. *Revista Politécnica*, 33(1).
- Mansoor, A. (2018). Dolfi: Next generation washing device. *Engineering Review*, 43(18).
- Miller, R. A. & Morris, H. A. (2004). Portable (mini) clothes & hair dryer. US Patent 6,757,986.
- Momen, A. M., Gluesenkamp, K. R., Vineyard, E. A., & Kisner, R. A. (2019). Dryer using high frequency vibration. US Patent 10,520,252.
- Momen, A. M., Kokou, E., Bansal, P., Gluesenkamp, K. R., & Abdelaziz, O. (2015). Preliminary investigation of novel direct contact ultrasonic fabric drying. In *ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress and Exposition: American Society of Mechanical Engineers Digital Collection*.
- MOPRADEF (2020). Módulo de práctica deportiva y ejercicio físico. recuperado 7 de julio de 2020, de instituto nacional de estadística y geografía (inegi) website:<https://www.inegi.org.mx/programas/mopradef/default.html#Documentacion>.



- Negocios, T. I. D. (2020). México, segundo país con más gimnasios en al recuperado 7 de julio de 2020, de tu interfaz de negocios website: <https://tuinterfaz.mx/noticias/22/10128/mexico-segundo-pais-con-mas-gimnasios-en-al/>.
- Niño, M. J., Andrés, S., & Lorena, L. (2010). Diseño y construcción de un prototipo de cavitación acústica, con fines de limpieza industrial. Proyecto de Grado thesis, Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería, Ingeniería de sonido, Bogota D.C INGENIERIA DE SONIDO, 2010.
- Patel, V. K., Kyle Reed, F., Kisner, R., Peng, C., Moghaddam, S., & Mehdizadeh Momen, A. (2019). Novel experimental study of fabric drying using direct-contact ultrasonic vibration. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 11(2).
- Peng, C. & Moghaddam, S. (2019). Energy efficient piezoelectrically actuated transducer for direct-contact ultrasonic drying of fabrics. *Drying Technology*, (pp. 1–10).
- Peng, C., Momen, A. M., & Moghaddam, S. (2017a). An energy-efficient method for direct-contact ultrasonic cloth drying. *Energy*, 138, 133–138.
- Peng, C., Ravi, S., Patel, V. K., Momen, A. M., & Moghaddam, S. (2017b). Physics of direct-contact ultrasonic cloth drying process. *Energy*, 125, 498–508.
- Politico, A. (2020). De 100 negocios abiertos en 2014, 39 han cerrado; predomina el comercio al menudeo: Inegi. recuperado 7 de julio de 2020, de animal politico website: <https://www.animalpolitico.com/2019/11/mexico-tiene-mas-bares-y-cantinas-que-museos-segun-datos-del-inegi/>.
- PZT de cerámica Electronic Co. (2021). Fabricante y compañía del tablero del conductor del humidificador de la niebla ultrasónica fabricante - precio - pzt electrónico. recuperado 14 de marzo de 2021, de internet: <http://es.piezodisc.com/piezo-ceramic/ultrasonic-mist-maker-humidifier-driver-board.html>.
- Rankia (2020). Estudiante foráneo, ¿un verdadero administrador financiero? recuperado 7 de julio de 2020, de entorno turistico website: <https://www.rankia.mx/blog/agentes-cambio-papel-finanzas/3718878-estudiante-foraneo-verdadero-administrador-financiero#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20e1%2016.6%25%20de,es%20considerado%20como%20%E2%80%9Cfor%C3%A1neos%E2%80%9D>.
- Rashid, M. H. (2004). *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Pearson Educación.
- Sanfilippo, L. & Sanfilippo, J. (2019). Dryer. US Patent App. 15/960,084.
- Slutsky, F. & Cataudella, M. (2006). Laundry appliance for washing small quantities of clothing. US Patent App. 11/381,792.
- Smith, R. D., Gerling, J. F., & Schultz, S. D. (2002). Compact microwave clothes dryer and method. US Patent 6,393,725.

- Technology, H. (2021). Bts7960 high current 43a h-bridge motor driver. recuperado 9 de marzo de 2021, de internet: ,<https://www.handsontec.com/dataspecs/module/BTS7960%20Motor%20Driver.pdf>.
- TeGrotenhuis, W., Butterfield, A., Caldwell, D., Crook, A., & Winkelman, A. (2017). Modeling and design of a high efficiency hybrid heat pump clothes dryer. *Applied Thermal Engineering*, 124, 170–177.
- Tippens, P. E., Orozco, J. H. C., & Ruiz, Á. C. G. (2007). *Física: conceptos y aplicaciones*. Number Sirsi) i9789701035146. McGraw-Hill Interamericana.
- Turistico, E. (2020). ¿cuántos hoteles y cuartos de hotel hay en méxico? recuperado 7 de julio de 2020, de entorno turistico website:<https://www.entornoturistico.com/cuantos-hoteles-y-cuartos-de-hotel-hay-en-mexico/>.
- Valdez, C. G. (2021). Lavado por ultrasonido (ultrasonic washing). recuperado 20 de marzo de 2021, de internet: ,<https://www.youtube.com/watch?v=G4YlsKjiB08>.
- Zhang, Y. & Abatzoglou, N. (2020). Fundamentals, applications and potentials of ultrasound-assisted drying. *Chemical Engineering Research and Design*, 154, 21–46.

---

# Anexo

---

## Implementación en Arduino

---

```
1 #include <MsTimer2.h> //libreria
2
3 // input (las puedo poner en analogicas)
4 const int buttonOnOffPin = 2; // boton de encendido
5 const int buttonDryePin = 3; // boton para habilitar el ciclo
6 // de secado
7 const int buttonDesinfectPin = 4; // boton para habilitar el ciclo
8 //de desinfeccion
9 const int buttonDeodorizePin = 5; // boton para habilitar el ciclo
10 // de deororacion
11 const int buttonAromatizePin = 6; // boton para habilitar el ciclo
12 // de aromatizado
13 const int buttonAirPin = 7; // boton para habilitar el ciclo
14 //de aire caliente
15 const int buttonStartPausePin = 8; // boton para iniciar o pausar
16
17
18
19 // Output leds
20 const int DryePinLed = 22; // Led indicador de que se activo
21 //el ciclo de secado
22 const int DesinfectPinLed = 23; // Led indicador de que se activo
23 //el ciclo de desinfeccion
24 const int DeodorizePinLed = 24; // Led indicador de que se activo
25 //el ciclo de deodoracion
26 const int AirPinLed = 25; // Led indicador de que se activo
27 //el ciclo de aire caliente
28 const int OnOffPinLed = 26; // Led indicador de que se activo
29 //el mini care
30 const int StartPausePinLed = 27; // Led indicador de que se activo
31 //inicia el ciclo (cuando parpate esta en pause)
32 const int AromatizePinLed = 28; // Led indicador de que se activo
33 //el ciclo de aromatizado
34
35
36
37
38 // Output releas
```

```

39 const int ReleDryePin = 29;           // Rele que activa el secado
40 const int ReleDesinfectPin = 30;     // Rele que activa la desinfeccion
41 const int ReleDeodorizePin = 31;     // Rele que activa el deodorizado
42 const int ReleAirPin = 32;          // Rele que activa el aire caliente
43 const int ReleAromatizePin = 33;     // Rele que activa el aromatizado
44 const int ReleOnOffPin = 34;        // Rele que activa el indica el
45 //encendido (aun no se utilizan fisicamente)
46 const int ReleStartPausePin = 35;    // Rele que activa el pause (aun
47 // no se utilizan fisicamente)
48 int ledState = LOW;                  // status para hacer que en el
49 //estado de pause parpade el led
50 int buttonDrye = 0;                  // etiqueta para la lectura del
51 //boton de secado
52 int buttonDesinfect = 0;             // etiqueta para la lectura del
53 //boton de desinfeccion
54 int buttonDeodorize = 0;             // etiqueta para la lectura del
55 //boton de deodoracion
56 int buttonAromatize = 0;             // etiqueta para la lectura del
57 //boton de aromatizado
58 int buttonOnOff = 0;                 // etiqueta para la lectura del
59 //boton de encendido
60 int buttonStartPause = 0;            // etiqueta para la lectura del
61 //boton del pause
62 int buttonAir = 0;                   // etiqueta para la lectura del
63 //boton del aire caliente
64 int AuxCount = 0;                    // Contador auxiliar cuenta cuanto
65 //tiempo lleva en pausa
66
67
68 const int ledPin = 13;                // Este no se usa
69 const int OneMinute = 40;             // Tiempo si no es seleccionado
70 //un ciclo despues de el on
71 //se apaga automaticamente
72 const int TimeDrye = 15;               // Tiempo del ciclo de secado
73 const int TimeDesinfect = 12;         // Tiempo del ciclo de
74 //desinfeccion (UV)
75 const int TimeDeodor = 8;             // Tiempo del ciclo de
76 //deodoracion (ozono)
77 const int TimeAir = 5;                 // Tiempo del ciclo de
78 //aire caliente
79 const int TimeAroma = 2;               // Tiempo del ciclo de aroma
80 const int TimePause = 30;             // Tiempo si se presiona el
81 //pause y se deja pausado por
82 // un tiempo se apaga
83 int Count = 0; // Contador de segundos
84 int CountDrye = 0; // no se usa
85 bool FlagOn = false; // bandera para saber si se
86 //encendio el on/off
87 bool FlagDrye = false; // Bandera pasa saber si
88 //se encendio el secado
89 bool FlagDesinfect = false; // Bandera pasa saber
90 //si se encendio la desinfeccion
91 bool FlagDeodor = false; // Bandera para saber si
92 //se encendio la deodoracion
93 bool FlagAroma = false; // Bandera para saber si se
94 //encendio el aromatizado

```

```

95 bool FlagAir = false; // bandera para saber si se
96 //encendio el aire caliente
97 bool FlagStart = false; // Bandera para saber si se
98 //encendio el inicio (parpadea
99 // cuando esta en pausa)
100 bool DryeFinish = false; // Bandera aun no se usa
101 bool FlagCount = false; // Bandera de conteo para
102 //indicar cuando contar y
103 //cargar la cuenta en los ciclo
104 bool FlagPause = false; // bandera que indica si
105 //esta en pausa
106 bool FlagProces = false; // abdera de proceso (no necesaria)
107 int cp = 0; //contador de pausa (se usa para saber
108 //el estado de start o pausa)
109
110 unsigned long previousMillis = 0; // will store last
111 //time LED was updated constants won't change:
112 const long interval = 1000; // intervalo del parpadeo del
113 // pause interval at which to blink (milliseconds)
114
115 //////////////imprime los datos cuando abrimos el monitor serial
116 void flash()
117 { //incrementa cada segundo (por la lireria MsTimer2.h
118   Count = Count + 1;
119   Serial.println(Count);
120   //Serial.print(State);
121 }
122
123 void setup() {
124   // put your setup code here, to run once:
125   // initialize the pushbutton pin as an input:
126   Serial.begin(9600);
127   MsTimer2::set(1000, flash); // Set 1 second on timer
128   // MsTimer2::start(); // start the timer
129   pinMode(buttonDryePin, INPUT); // indicar que el boton de
130   //secado sera entrada
131   pinMode(buttonDesinfectPin, INPUT); // indicar que el boton
132   //de desinfeccion es entrada
133   pinMode(buttonDeodorizePin, INPUT); // indicar que el boton
134   //de deodorizado es entrada
135   pinMode(buttonAirPin, INPUT); // indicar que el boton de
136   //aire caliente es entrada
137   pinMode(buttonAromatizePin, INPUT); // indicar que el
138   //boton de aroma es entrada
139   pinMode(buttonOnOffPin, INPUT); // indicar que el boton
140   //de on/off en estrada
141   pinMode(buttonStartPausePin, INPUT); // indicar que el boton
142   // de start/pause es entrada
143   // initialize the LED pin as an output:
144   pinMode(ledPin, OUTPUT); // no se usa
145   pinMode(DryePinLed, OUTPUT); // indicador de secado
146   // como salida
147   pinMode(DesinfectPinLed, OUTPUT); // indicador de
148   //desinfeccion de salida
149   pinMode(DeodorizePinLed, OUTPUT); // indicador de
150   //deororizado de salida

```

```

151  pinMode(AirPinLed, OUTPUT); // indicador de aire
152  //caliente de salida
153  pinMode(AromatizePinLed, OUTPUT); //indicador de aroma
154  // de salida
155  pinMode(OnOffPinLed, OUTPUT); // indicador de on/off
156  // de salida
157  pinMode(StartPausePinLed, OUTPUT); // indicador de
158  //start/pause de salida
159
160  // initialize the Rele pin as an output:
161
162  pinMode(ReleDryePin, OUTPUT); // Rele que actica el
163  //secado es salida
164  pinMode(ReleDesinfectPin, OUTPUT); // Rele que activa
165  //la desinfeccion es salida
166  pinMode(ReleDeodorizePin, OUTPUT); // Rele que activa
167  //la deodoracion de salida
168  pinMode(ReleAirPin, OUTPUT); // Rele que activa el
169  //aire caliente de salida
170  pinMode(ReleAromatizePin, OUTPUT); // Rele que activa
171  //el aromatizado de salida
172  pinMode(ReleOnOffPin, OUTPUT); // Rele que activa las
173  //funciones (sin funcion)
174  pinMode(ReleStartPausePin, OUTPUT); // Rele de startPause
175 }
176
177 void loop() {
178  // put your main code here, to run repeatedly:
179  // read the state of the pushbutton value:
180  buttonDrye = digitalRead(buttonDryePin); // leer el status del
181  //boton
182  buttonDesinfect = digitalRead(buttonDesinfectPin); // leer el
183  //status del botno
184  buttonDeodorize = digitalRead(buttonDeodorizePin);
185  buttonAir = digitalRead(buttonAirPin);
186  buttonAromatize = digitalRead(buttonAromatizePin);
187  buttonOnOff = digitalRead(buttonOnOffPin);
188  buttonStartPause = digitalRead(buttonStartPausePin);
189  unsigned long currentMillis = millis();
190  if (buttonOnOff == HIGH && FlagOn == false) {
191      Count = 0;
192      FlagOn = true;
193      digitalWrite(OnOffPinLed, FlagOn);
194      MsTimer2::start(); // start the timer
195      delay(800);
196      buttonOnOff = digitalRead(buttonOnOffPin);
197
198  }
199  if (buttonOnOff == HIGH && FlagOn == true)
200  {
201      Serial.println("Entro");
202      FlagOn = false;
203      digitalWrite(OnOffPinLed, FlagOn);
204      MsTimer2::stop(); // start the timer
205      Count = 0;
206      digitalWrite(ReleDryePin, LOW);

```

```

207     digitalWrite(ReleDesinfectPin, LOW);
208     digitalWrite(ReleDeodorizePin, LOW);
209     digitalWrite(ReleAirPin, LOW);
210     digitalWrite(ReleAromatizePin, LOW);
211     digitalWrite(DryePinLed, LOW);
212     digitalWrite(DesinfectPinLed, LOW);
213     digitalWrite(DeodorizePinLed, LOW);
214     digitalWrite(AromatizePinLed, LOW);
215     digitalWrite(StartPausePinLed, LOW);
216     digitalWrite(AirPinLed, LOW);
217     delay(800);
218     buttonOnOff = digitalRead(buttonOnOffPin);
219     CountDrye = 0;
220     FlagOn = false;
221     FlagDrye = false;
222     FlagDesinfect = false;
223     FlagDeodor = false;
224     FlagAroma = false;
225     FlagAir = false;
226     FlagStart = false;
227     DryeFinish = false;
228     FlagCount = false;
229     FlagPause = false;
230     cp = 0;
231
232 }
233 if (Count >= OneMinute && FlagStart == false) {
234     Count = 0;
235     FlagOn = false;
236     MsTimer2::stop(); // stop the timer
237     digitalWrite(OnOffPinLed, FlagOn);
238     // apagar todo
239     Count = 0;
240     digitalWrite(ReleDryePin, LOW);
241     digitalWrite(ReleDesinfectPin, LOW);
242     digitalWrite(ReleDeodorizePin, LOW);
243     digitalWrite(ReleAirPin, LOW);
244     digitalWrite(ReleAromatizePin, LOW);
245     digitalWrite(DryePinLed, LOW);
246     digitalWrite(DesinfectPinLed, LOW);
247     digitalWrite(DeodorizePinLed, LOW);
248     digitalWrite(AromatizePinLed, LOW);
249     digitalWrite(StartPausePinLed, LOW);
250     digitalWrite(AirPinLed, LOW);
251     delay(800);
252     buttonOnOff = digitalRead(buttonOnOffPin);
253     CountDrye = 0;
254     FlagOn = false;
255     FlagDrye = false;
256     FlagDesinfect = false;
257     FlagDeodor = false;
258     FlagAroma = false;
259     FlagAir = false;
260     FlagStart = false;
261     DryeFinish = false;
262     FlagCount = false;

```

```

263     FlagPause = false;
264     cp = 0;
265 }
266
267 if (AuxCount >= TimePause)
268 {
269     Count = 0;
270     FlagOn = false;
271     MsTimer2::stop(); // stop the timer
272     digitalWrite(OnOffPinLed, FlagOn);
273     // apagar todo
274     Count = 0;
275     digitalWrite(ReleDryePin, LOW);
276     digitalWrite(ReleDesinfectPin, LOW);
277     digitalWrite(ReleDeodorizePin, LOW);
278     digitalWrite(ReleAirPin, LOW);
279     digitalWrite(ReleAromatizePin, LOW);
280     digitalWrite(DryePinLed, LOW);
281     digitalWrite(DesinfectPinLed, LOW);
282     digitalWrite(DeodorizePinLed, LOW);
283     digitalWrite(AromatizePinLed, LOW);
284     digitalWrite(StartPausePinLed, LOW);
285     digitalWrite(AirPinLed, LOW);
286     delay(800);
287     buttonOnOff = digitalRead(buttonOnOffPin);
288     CountDrye = 0;
289     FlagOn = false;
290     FlagDrye = false;
291     FlagDesinfect = false;
292     FlagDeodor = false;
293     FlagAroma = false;
294     FlagAir = false;
295     FlagStart = false;
296     DryeFinish = false;
297     FlagCount = false;
298     FlagPause = false;
299     cp = 0;
300     AuxCount = 0;
301 }
302
303
304 if (buttonDrye == HIGH && FlagOn == true &&
305 FlagStart == false) {
306     FlagDrye = true;
307     digitalWrite(DryePinLed, FlagDrye);
308     Serial.println("Activar secado");
309 }
310
311 if (buttonDesinfect == HIGH && FlagOn == true &&
312 FlagStart == false) {
313     FlagDesinfect = true;
314     digitalWrite(DesinfectPinLed, FlagDesinfect);
315     Serial.println("Activar desinfeccion");
316 }
317
318 if (buttonDeodorize == HIGH && FlagOn == true &&

```



```

319 FlagStart == false) {
320     FlagDeodor = true;
321     digitalWrite(DeodorizePinLed, FlagDeodor);
322     Serial.println("Activar deodorizado");
323 }
324
325 if (buttonAromatize == HIGH && FlagOn == true &&
326 FlagStart == false) {
327     FlagAroma = true;
328     digitalWrite(AromatizePinLed, FlagAroma);
329     Serial.println("Activacion de aroma");
330 }
331
332 if (buttonAir == HIGH && FlagOn == true &&
333 FlagStart == false) {
334     FlagAir = true;
335     digitalWrite(AirPinLed, FlagAir);
336     Serial.println("Activar aire caliente");
337 }
338
339 if (buttonStartPause == HIGH && FlagOn == true &&
340 FlagStart == false) {
341     FlagStart = true;
342     digitalWrite(StartPausePinLed, FlagStart);
343     delay(500);
344 }
345
346 if (buttonStartPause == HIGH) {
347     Serial.println("entra al contador de pause");
348     cp++; // contador
349     cp %= 2; // el modulo para que solo cuente hasta 2 y asi tener
350 //3 interfases (interfase 0, interfase 1)
351     Serial.print("Contador de estado");
352     Serial.println(cp);
353     delay(1000);
354 }
355 if ((FlagDrye == false && FlagDesinfect == false
356 && FlagDeodor == false && FlagAroma == false && FlagAir == false)
357 && FlagStart == true && FlagOn == true)
358 {
359     FlagStart = false;
360     digitalWrite(StartPausePinLed, FlagStart);
361 }
362 // los botones funcionan bien
363
364 if ((FlagDrye == true || FlagDesinfect == true
365 || FlagDeodor == true || FlagAroma == true
366 || FlagAir == true) && FlagStart == true)
367 {
368
369     if (cp == 0)
370     {
371         if (FlagPause == false)
372         {
373             // AuxCount = Count;
374             //Count = 0;

```

```

375     MsTimer2::stop();    // stop the timer
376 }
377
378 FlagPause = true ;
379 digitalWrite(ReleDryePin, LOW);
380 digitalWrite(ReleDesinfectPin, LOW);
381 digitalWrite(ReleDeodorizePin, LOW);
382 digitalWrite(ReleAirPin, LOW);
383 digitalWrite(ReleAromatizePin, LOW);
384 // Serial.print("previous");
385
386 if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
387     // save the last time you blinked the LED
388     previousMillis = currentMillis;
389     AuxCount++;
390     Serial.print("contador de pausa");
391     Serial.println(AuxCount);
392
393     // if the LED is off turn it on and vice-versa:
394     if (ledState == LOW) {
395         ledState = HIGH;
396     } else {
397         ledState = LOW;
398     }
399
400     // set the LED with the ledState of the variable:
401     digitalWrite(StartPausePinLed, ledState);
402 }
403
404
405 }
406 else
407 {
408     if (FlagPause == true)
409     {
410         //Count = AuxCount;
411         MsTimer2::start(); // stop the timer
412         FlagPause = false;
413         AuxCount = 0;
414     }
415
416 }
417
418 // Inicia el proceso
419
420 if (FlagDrye == true && FlagPause == false)
421 {
422     // Start the Count of Drye
423     digitalWrite(ReleDryePin, FlagDrye);
424     if (FlagCount == false)
425     {
426         Count = 0; // initializer the Count
427         FlagCount = true; // This Flag it's to initialize onetime
428         Serial.print("iniciando secado");
429     }
430

```

```

431     if (Count > TimeDrye)
432     {
433         FlagCount = false;
434         FlagDrye = false;
435         Serial.print("Fin secado");
436         digitalWrite(ReleDryePin, FlagDrye);
437         digitalWrite(DryePinLed, FlagDrye);
438     }
439 }
440
441
442
443 }
444 if (FlagDesinfect == true && FlagDrye == false
445 && FlagPause == false)
446 {
447     // Start the Count of Drye
448     digitalWrite(ReleDesinfectPin, FlagDesinfect);
449     if (FlagCount == false)
450     {
451         Count = 0; // initializer the Count
452         FlagCount = true; // This Flag it's to initialize onetime
453         Serial.print("iniciando desinfeccion");
454     }
455
456     if (Count > TimeDesinfect)
457     {
458         FlagCount = false;
459         FlagDesinfect = false;
460         Serial.print("Fin desinfeccion");
461         digitalWrite(ReleDesinfectPin, FlagDesinfect);
462         digitalWrite(DesinfectPinLed, FlagDesinfect);
463     }
464 }
465 }
466
467 if (FlagDeodor == true && FlagDesinfect == false
468 && FlagDrye == false && FlagPause == false )
469 {
470     // Start the Count of Drye
471
472     digitalWrite(ReleDeodorizePin, FlagDeodor);
473     if (FlagCount == false)
474     {
475         Count = 0; // initializer the Count
476         Serial.print("iniciando deodoracion");
477         FlagCount = true; // This Flag it's to initialize onetime
478     }
479
480     if (Count > TimeDeodor)
481     {
482         FlagCount = false;
483         FlagDeodor = false;
484         Serial.print("fin deodoracion");
485         digitalWrite(ReleDeodorizePin, FlagDeodor);
486         digitalWrite(DeodorizePinLed, FlagDeodor);

```

```

487     }
488
489 }
490
491
492     if (FlagAir == true && FlagDeodor == false &&
493 FlagDesinfect == false && FlagDrye == false
494 && FlagPause == false)
495     {
496         // Start the Count of Drye
497
498         digitalWrite(ReleAirPin, FlagAir);
499         if (FlagCount == false)
500         {
501             Count = 0; // initializer the Count
502             FlagCount = true; // This Flag it's to initialize onetime
503             Serial.print("iniciando aire caliente");
504         }
505
506         if (Count > TimeAir)
507         {
508             FlagCount = false;
509             FlagAir = false;
510             Serial.print("Fin aire caliente");
511             digitalWrite(ReleAirPin, FlagAir);
512             digitalWrite(AirPinLed, FlagAir);
513         }
514
515     }
516
517     if (FlagAroma == true && FlagAir == false
518 && FlagDeodor == false && FlagDesinfect == false
519 && FlagDrye == false && FlagPause == false)
520     {
521         // Start the Count of Drye
522
523         digitalWrite(ReleAromatizePin, FlagAroma);
524         if (FlagCount == false)
525         {
526             Count = 0; // initializer the Count
527             Serial.println("iniciando aroma");
528             FlagCount = true; // This Flag it's to initialize onetime
529         }
530
531         if (Count > TimeAroma)
532         {
533             FlagCount = false;
534             FlagAroma = false;
535             Serial.print("fin aromatizado");
536             digitalWrite(ReleAromatizePin, FlagAroma);
537             digitalWrite(AromatizePinLed, FlagAroma);
538             digitalWrite(StartPausePinLed, LOW);
539         }
540
541     }
542     if (FlagAroma == false && FlagAir == false

```

```

543  && FlagDeodor == false && FlagDrye == false
544  && FlagDesinfect == false)
545  {
546    Serial.println("Fin de proceso");
547    MsTimer2::stop();    // start the timer
548    FlagStart = false;
549    FlagOn = false;
550    Count = 0;
551    digitalWrite(ReleDryePin, FlagDrye);
552    digitalWrite(ReleDesinfectPin, FlagDesinfect);
553    digitalWrite(ReleDeodorizePin, FlagDeodor);
554    digitalWrite(ReleAirPin, FlagAir);
555    digitalWrite(ReleAromatizePin, FlagAroma);
556    digitalWrite(DryePinLed, FlagDrye);
557    digitalWrite(DesinfectPinLed, FlagDesinfect);
558    digitalWrite(DeodorizePinLed, FlagDeodor);
559    digitalWrite(AromatizePinLed, FlagAroma);
560    digitalWrite(StartPausePinLed, FlagStart);
561    digitalWrite(AirPinLed, FlagAir);
562    digitalWrite(OnOffPinLed, FlagOn);
563  }
564 }
565
566 }

```

---

Listing A.1: Codigo la secadora centrifuga en arduino

## A.1. Programas

VHDL

Top del VHDL.

---

```

1  Library IEEE;
2  use IEEE.std_logic_1164.all;
3  use IEEE.std_logic_arith.all;
4  use IEEE.std_logic_unsigned.all;
5
6  entity Piezo is
7    generic (Bits : integer:=12);
8    port(
9      RST : in std_logic;
10     CLK: in std_logic;
11     PIN: in std_logic_vector(Bits-1 downto 0);
12     PWMR: out std_logic;
13     PWML: out std_logic;
14     LED: out std_logic
15    );
16
17  end Piezo;
18
19  Architecture Behavioral of Piezo is
20  component timer is generic(Ticks : integer:=10);
21  port(
22    RST : in std_logic;
23    CLK : in std_logic;
24    SYN : out std_logic

```

```

25 );
26 end component;
27
28 Component timer_frecuencia_controlable is
29   generic ( Ticks : integer:=10;
30             n : integer:= 12
31   );
32   port(
33     RST : in std_logic;
34     CLK: in std_logic;
35     PIN: in std_logic_vector(n-1 downto 0);
36     SYN: out std_logic
37   );
38
39 end component;
40
41 Component toggle is
42   port(
43     RST : in std_logic;
44     CLK: in std_logic;
45     XIN: in std_logic;
46     XOUT: out std_logic
47   );
48 end component;
49 signal EOT,SLED : std_logic;
50 begin
51   U01 : timer_frecuencia_controlable generic map(100e4,Bits) port map(RST,CLK,PIN,
52     EOT); --459 109 hz 454 110 hz
53   U02 : toggle port map(RST,CLK,EOT,SLED);
54   PWMR <= SLED;
55   PWML <= not SLED;
56   LED <= SLED;
57 end Behavioral;

```

---

Listing A.2: Codigo Top del modulador de frecuencia en VHDL

Componente Contador.

---

```

1  Library IEEE;
2  use IEEE.std_logic_1164.all;
3  use IEEE.std_logic_arith.all;
4  use IEEE.std_logic_unsigned.all;
5
6  entity timer_frecuencia_controlable is
7    generic ( Ticks : integer:=10;
8              n : integer:= 12
9    );
10   port(
11     RST : in std_logic;
12     CLK: in std_logic;
13     PIN: in std_logic_vector(n-1 downto 0);
14     SYN: out std_logic
15   );
16
17 end timer_frecuencia_controlable;
18
19 --}} End of automatically maintained section

```

```

20
21 architecture Behavioral of timer_frecuencia_controlable is
22 signal Cp, Cn : std_logic_vector(26 downto 0);
23
24 begin
25     Combinatorial : process(Cp,PIN)
26
27     variable suma:unsigned(26 downto 0);
28
29     begin
30     --suma:= unsigned(Cp)+unsigned(PIN);
31
32     if Cp >= (Ticks -1) then
33         Cn <= (others => '0');
34         SYN <= '1';
35     else
36         suma:= unsigned(Cp)+unsigned(PIN);
37         Cn <= std_logic_vector(suma(26 downto 0));
38         --Cn <= Cp +1;
39         SYN <= '0';
40     end if;
41     end process Combinatorial;
42
43     Sequential : process(RST,CLK)
44     begin
45         if RST = '0' then
46             Cp<= (others => '0');
47         elsif CLK'event and CLK = '1' then
48             Cp <= Cn;
49         end if;
50     end process Sequential;
51
52 end Behavioral;
53

```

---

Listing A.3: Codigo Componente del modulador de frecuencia en VHDL

Componente Toggle.

---

```

1 -----
2 --
3 -- Title       : Toggle
4 -- Design      : Toggle
5 -- Author      : chayanne garcia
6 -- Company     : UAQ
7 --
8 -----
9 --
10 -- File        : d:\Documents\maestria\Fpga\Mydesign\Toggle\Toggle\src\Toggle.vhd
11 -- Generated   : Sun Aug 11 21:39:11 2019
12 -- From        : interface description file
13 -- By          : Itf2Vhdl ver. 1.22
14 --
15 -----
16 --
17 -- Description :
18 --

```

```

19 -----
20
21 --{{ Section below this comment is automatically maintained
22 --   and may be overwritten
23 --{entity {Toggle} architecture {Toggle}}
24 Library IEEE;
25 use IEEE.std_logic_1164.all;
26
27 entity toggle is
28   port(
29     RST : in std_logic;
30     CLK: in std_logic;
31     XIN: in std_logic;
32     XOUT: out std_logic
33   );
34 end toggle;
35
36 --}} End of automatically maintained section
37
38 architecture Behavioral of toggle is
39   signal Qp, Qn : std_logic;
40
41 begin
42   Combinatorial : process(Qp, XIN)
43   begin
44     Qn <= XIN XOR Qp;
45     XOUT <= Qp;
46   end process Combinatorial;
47
48   Sequential : process(RST,CLK)
49   begin
50     if RST = '0' then
51       Qp <= '0';
52     elsif CLK'event and CLK = '1' then
53       Qp <= Qn;
54     end if;
55   end process Sequential;
56
57 end Behavioral;
58
59

```

Listing A.4: Código Componente del modulador de frecuencia en VHDL



26/3/2021

Gmail - Información del trabajo 20 Coloquio 14 Edición 2020



Chayanne Garcia &lt;chayanne.garcia.valdez@gmail.com&gt;

---

**Información del trabajo 20 Coloquio 14 Edición 2020**

1 mensaje

---

**Coloquio 14** <coloquio14@easychair.org>

3 de noviembre de 2020, 18:42

Para: Chayanne Garcia Valdez &lt;chayanne.garcia.valdez@gmail.com&gt;

Estimad@ Chayanne Garcia Valdez,

Felicitaciones, de acuerdo con su documento titulado: "Revisión de tecnologías para el lavado secado y desinfección de ropa ", se llegó al dictamen de: "ACEPTADO para PONENCIA"]".

Le solicitamos actualizar su trabajo con los autores y coautores correspondientes, así como realizar una última revisión de formato (de acuerdo con la guía de autores). Y seguir al pendiente de su correo para cualquier actualización de información.

Si tiene alguna duda en particular, envíe un correo electrónico a [articulos.coloquio14@gmail.com](mailto:articulos.coloquio14@gmail.com) con el asunto: "ACEPTADO - #20".

Saludos Cordiales.

Atentamente,

Comité Organizador del 14° Coloquio de la División de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro

Figura A.1: Correo de aceptación de artículo "Revisión de tecnologías para el lavado secado y desinfección de ropa" coloquio 14°.



Figura A.2: Certificado por participar como ponente en coloquio 14°.



Se otorga la presente

# CONSTANCIA

a:

**CHAYANNE GARCÍA VALDEZ**

por su participación como Asistente:

**EN EL 14VO COLOQUIO DE POSGRADO  
DE INGENIERÍA**

Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería C.U.  
18, 19 Y 20 de noviembre 2020

**Dr. Manuel Toledano Ayala**  
DIRECTOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Figura A.3: Certificado por participar como asistente de Coloquio 14°.

La Asociación Mexicana de Mecatrónica  
A.C. otorga el presente

## RECONOCIMIENTO

a: **García Valdez Chayanne**



Por su participación con el trabajo titulado:

**“Monitoreo a distancia de intensidad de luz basado en fotodiodo para la adquisición de datos en tiempo real”, en el marco del 19° Congreso Nacional de Mecatrónica.**

Lic. Jorge Enrique Orozco Ramírez

Presidente

3 y 4 de Diciembre  
2020, México

Dr. J. Emilio Vargas Soto

Fundador

Figura A.4: Certificado de reconocimiento por participar en la Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.



Scanned with CamScanner

Figura A.5: Certificado por participar como organizador del Coloquio 13°.



Figura A.6: Certificado de ponencia en congreso internacional de acuaponia Bogotá, Colombia.

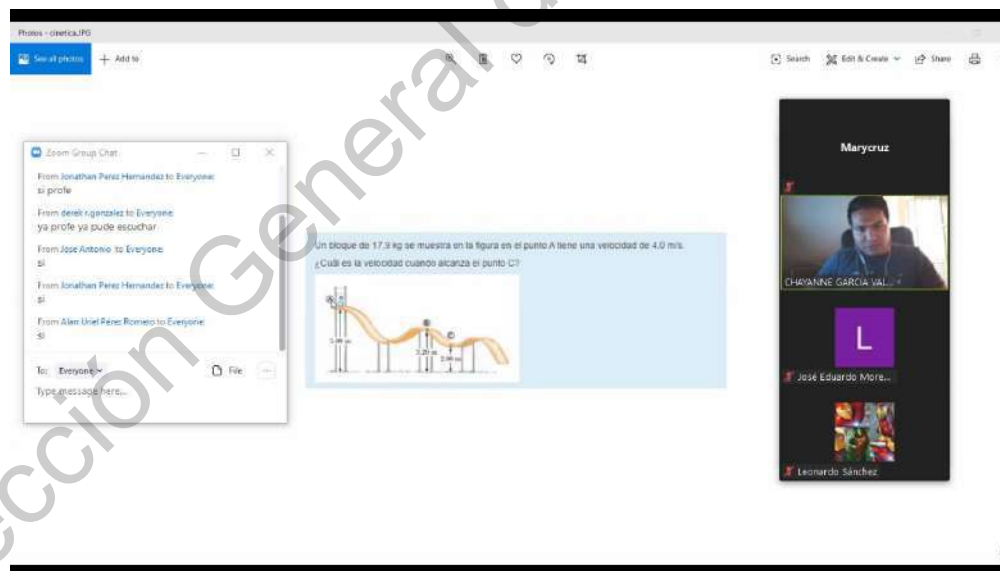


Figura A.7: Clases en propédeutico de licenciatura como profesor de física Enero 2020, Por la pandemia se concluyeron las clases de forma virtual).



Figura A.8: Hoja de diseño de *minicare versión 1*.

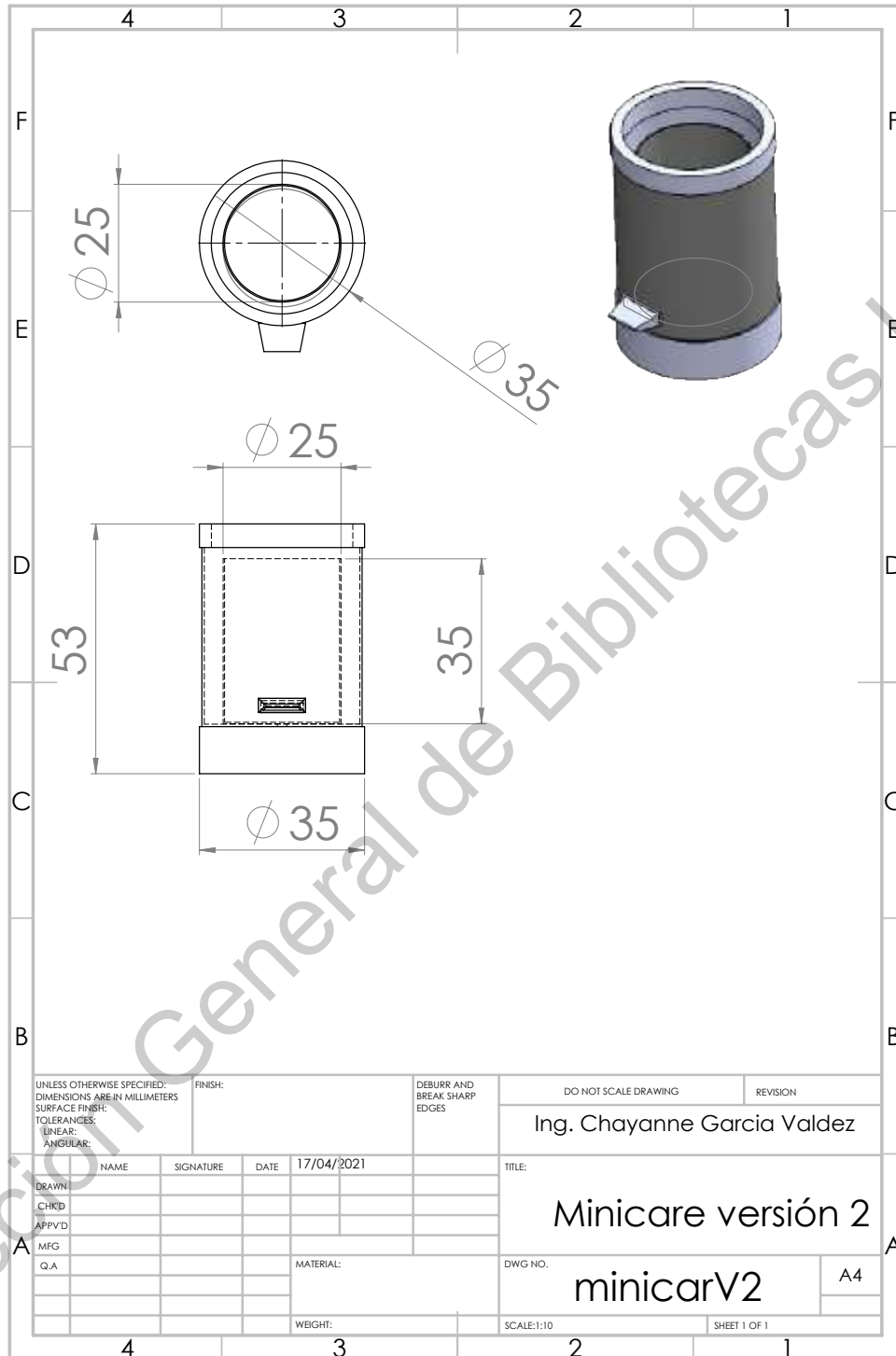


Figura A.9: Hoja de diseño de *minicare versión 2*.



### A.3. Tabla de componentes

Tabla A.1: Materiales utilizados

Componente	Características	Precio	Referencia
Generador de ozono	Modelo: FW-120 Fabricante: CNRUIHUA Voltaje: 12 VDC Nivel de salida de ozono: 200-400 mg/h	150	(Cnruihla, 2020b)
Bomba de aire	Modelo: RH-77 mini pump Fabricante: CNRUIHUA Flujo: 3-6 l/min Voltaje: 12/24 VDC	100	(Cnruihla, 2020a)
DIY humectante transductor fabricante de niebla atomizador película placa accesorios humidificador ultrasónico junta de goma.	Voltaje: 70 Vp-p Frecuencia de resonancia: 108 +/- 5 kHz Diámetro: 16 mm Área funcional: 3 mm	200 (10 unidades)	(Aliexpress, 2020b)
Humidificador DIY Kit 5V generador de niebla transductor accesorios de placa humidificadora + módulo PCB D16mm	Voltaje: 5 VCD Frecuencia: 100 a 120 kHz Dimension: 2x3 cm	500 (10 unidades)	(Aliexpress, 2020a)
Luz UV, esterilizador de bombilla UV-C	Voltaje: 5 VCD Longitud de onda: 253.7 nm	1200	(Amazon, 2020b)
Secadora centrifuga marca panda	Modelo: PANSP21W Velocidad: 3200 RPM Voltaje: 110 V Capacidad: 25 lb	5874.68	(Amazon, 2020c)
Aroma	Voltaje: 5 VCD Marca: Flyitem Almacen de aroma con esponja	492.32	(Amazon, 2020a)
Circuito 555	generico	15	(Alldatasheet, 2020b)
Mosfet	Modelo irlz44	30	(Alldatasheet, 2020a)
<b>Total:</b>		8562	