



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Licenciatura en Diseño Industrial



Diseño de monitor para la detección de Hemorragias
Obstétricas posparto

TESIS

Que como parte de los requerimientos para obtener el
grado de Licenciado en Diseño Industrial

PRESENTA

Natalia Sil Mejía

DIRIGIDO POR

MDI. Alejandro Antonio Salinas Aguilar

Centro Universitario
Querétaro, Qro. México.
Junio 2021

Dirección General de Bibliotecas UAQ



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Licenciatura en Diseño Industrial



Diseño de monitor para la detección de Hemorragias
Obstétricas posparto

TESIS

Que como parte de los requerimientos para obtener el
grado de Licenciado en Diseño Industrial

PRESENTA

Natalia Sil Mejia

DIRIGIDO POR

MDI. Alejandro Antonio Salinas Aguilar

MDI. Alejandro Antonio Salinas Aguilar

Presidente

MDI. José Héctor López Aguado Aguilar

Secretario

MDI. Martha Lucía Saavedra Rivera

Vocal

Dra. Hilda Romero Zepeda

Suplente

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director Facultad de Ingeniería

Dr. Javier Ávila Morales
Secretario Académico

Centro Universitario
Querétaro, Gro. México.
Julio 2021

Facultad de Ingeniería
Licenciatura en Diseño Industrial

Diseño de monitor para la
detección de **Hemorragias
Obstétricas** posparto

Natalia **Sil Mejía**

Dirigida por:
MDI. Alejandro Antonio Salinas Aguilar



Dirección General de Bibliotecas UAQ

Resumen

El mundo actual enfrenta problemas de diversa índole que abarcan desde lo social hasta lo ambiental, dentro de éstos, las cuestiones de salud representan una preocupación mundial ya que cada vez surgen nuevas complicaciones y no se cuenta con los recursos (humanos, económicos y materiales) necesarios para afrontarlos.

La mortalidad materna juega un papel crítico en el marco mundial al haber 830 mujeres que mueren diariamente debido a complicaciones en el embarazo o parto (OMS, 2019), siendo la Hemorragia Obstétrica (HO) la primera causa de mortalidad materna en el mundo y México. Lo más significativo de esta cifra es que un porcentaje considerable de éstas podrían haberse evitado si se contara con las instalaciones, personal médico, instrumentos, etc., adecuados para el tratamiento de la paciente.

El presente trabajo describe el proceso de desarrollo de un dispositivo médico mediante la implementación del diseño estratégico e industrial orientado al monitoreo de las pacientes posparto con la intención de coadyuvar en la disminución de la incidencia de las hemorragias obstétricas, ya que la evolución de una HO es medido mediante la cuantificación de sangre.

Este proyecto surge como resultado del análisis realizado de los productos y/o dispositivos existentes, así como el análisis de las dimensiones y variables del fenómeno de estudio. Lo anterior llevado a cabo desde la perspectiva del Diseño Industrial, identificando la aportación de esta disciplina del conocimiento en el desarrollo de una solución a partir de una visión integral de las HO, considerando desde el impacto médico hasta el emocional que tiene este padecimiento, teniendo en consideración todos los requerimientos que debe cumplir el producto terminado, del mismo modo que, las relaciones de éste con el usuario y su entorno.

Palabras clave

Diseño médico, hemorragia obstétrica, monitor obstétrico, usabilidad.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Para Mila, la estrella más brillante en mi cielo.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría expresar mi agradecimiento al Dr. Manuel Toledano Ayala, director de la Facultad de Ingeniería, quien a través del “Fondo para el Fomento: Cultura Emprendedora” me brindó el apoyo y los recursos para desarrollar el presente proyecto.

Asimismo, agradezco a mi director de tesis, el MDI. Alejandro Salinas, por creer en mí y en mi proyecto. Por responder cada duda y por cada uno de sus consejos. Gracias por la paciencia.

Por su tiempo, consejos y orientación a lo largo del desarrollo de este proyecto, gracias a mis asesores, el MDI. Héctor López, la MDI. Martha Lucía Saavedra, la Dra. Hilda Romero y el MDI. Froylán Correa.

Gracias a mis amigos y compañeros, por compartir, sufrir y disfrutar conmigo esta etapa de nuestras vidas.

A mi familia, especialmente a Dannie y a Lore, por su apoyo en el proyecto, por responder todas y cada una de mis dudas y por el cariño que me han brindado a lo largo de mi corta vida.

A Héctor Zaragoza, por estar ahí, por escucharme cuando necesitaba desahogarme, por las palabras de aliento y por celebrar conmigo cada pequeña victoria. Gracias.

Pero, sobre todo, gracias a mis padres, Norma Mejía Morales y José Luis Sil Rodríguez, porque su amor y apoyo incondicional me ha dado la fortaleza y libertad de enfrentarme a la vida. Las palabras no alcanzan para describir cuán agradecida estoy con ustedes por creer en mí, por su esfuerzo, por estar siempre al pie del cañón. Gracias por mostrarme el mundo del diseño, y por un millón de razones más, gracias.

Índice

Resumen	3
Agradecimientos	7
Índice	8
Índice de ilustraciones	11
Índice de tablas	15
Introducción	17
Descripción del problema	17
Revisión de la literatura	19
Antecedentes	19
Marco teórico	28
Complicaciones en el embarazo	28
Hemorragia obstétrica	30
Causas	30
Síntomas	32
Tratamiento	33
Consecuencias	37
Diseño para la salud	39
Tecnologías para la solución	43
Sensor de humedad	44
Justificación	45
Hipótesis y objetivos	47
Hipótesis	47
Objetivo general	47
Objetivos específicos	47

Metodología	47
Resultados	49
Identificar	49
Análisis	49
Tipo de hospital	50
Atención a la paciente	51
Priorización de síntomas	52
Métodos existentes	53
Inventar	53
Definición	53
Primera etapa	53
Análisis: Primera etapa	59
Segunda etapa	61
Concepto	65
Implementar	75
Prototipado	75
Prototipo funcional	75
Prototipo estético	80
Evaluación	87
Conclusiones	95
Referencias	98

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Métodos de cuantificación de sangre para HO. Elaboración propia.	18
Ilustración 2. Métodos no orientados a las HO: Recolección de líquido. Elaboración propia.	19
Ilustración 3. Dispositivos no orientados a las HO: Cuantificación de líquido. Elaboración propia.	20
Ilustración 4. Dispositivos no orientados a las HO: Productos comerciales. Elaboración propia.	22
Ilustración 5. Dispositivos no orientados a las HO: Patentes. Elaboración propia.	23
Ilustración 6. Dispositivos no orientados a las HO: Patentes. Elaboración propia.	25
Ilustración 7. Jerarquía de necesidades ergonómicas y hedonómicas. Elaboración propia con base en Hancock et al., 2005.	39
Ilustración 8. Biodesign Innovation Process. Elaboración propia con base en Biodesign Standford, 2000.	46
Ilustración 9. Mapa mental: Hemorragias obstétricas. Elaboración propia.	48
Ilustración 10. Número de muertes maternas por región. Elaboración propia con base en Roser, M., et al. 2015.	49
Ilustración 11. Bocetaje: Primera etapa. Elaboración propia.	52
Ilustración 12. Bocetaje: Segunda etapa. Elaboración propia.	53
Ilustración 13. Lámina de presentación: Sensor de humedad. Elaboración propia.	54

Ilustración 14. Lámina de presentación: Recolección. Elaboración propia.	55
Ilustración 15. Lámina de presentación: Peso. Elaboración propia.	55
Ilustración 16. Modelos de comprobación. Elaboración propia.	56
Ilustración 17. Moodboard: Comunicación. Elaboración propia.	56
Ilustración 18. Render propuesta conceptual: Monitor obstétrico. Elaboración propia.	57
Ilustración 19. Renders propuesta conceptual: Colores semáforo. Elaboración propia.	58
Ilustración 20. Requerimientos del objeto: Función. Elaboración propia.	59
Ilustración 21. Requerimientos del objeto: Ergonomía. Elaboración propia.	60
Ilustración 22. Diagrama usuario: Relevancia. Elaboración propia.	60
Ilustración 23. Requerimientos del objeto: Estética. Elaboración propia.	61
Ilustración 24. Requerimientos del objeto: Producción. Elaboración propia.	62
Ilustración 25. Especificaciones del objeto: Ejes de diseño. Elaboración propia.	62
Ilustración 26. Tablero de imágenes: factores objetuales. Elaboración propia.	64
Ilustración 27. Boceto de exploración: forma. Elaboración propia.	65
Ilustración 28. Modelo de exploración: forma. Elaboración propia.	66
Ilustración 29. Boceto de exploración: interfaz. Elaboración propia.	67
Ilustración 30. Boceto de exploración: Disposición de interfaz. Elaboración propia.	68
Ilustración 31. Boceto de exploración: Bumper. Elaboración propia.	69
Ilustración 32. Modelo CAD: Monitor. Elaboración propia.	70
Ilustración 33. Bocetos de exploración: forma. Elaboración propia.	71
Ilustración 34. Modelo de exploración: forma. Elaboración propia.	72

Ilustración 35. Modelo CAD: Sensor. Elaboración propia.	72
Ilustración 36. Metodología de Diseño de dispositivos electrónicos. Elaboración propia con base en Correa, 2021.	74
Ilustración 37. Diagrama de flujo: Sensor. Elaboración propia.	75
Ilustración 38. Diagrama de flujo: Monitor. Elaboración propia.	75
Ilustración 39. Diagrama de bloques. Elaboración propia.	77
Ilustración 40. Pruebas en Protoboard. Elaboración propia.	78
Ilustración 41. Modelo de impresión 3D: Monitor. Elaboración propia.	80
Ilustración 42. Pruebas grosor de pantalla. Elaboración propia.	81
Ilustración 43. Modelo de impresión 3D: Sensor. Elaboración propia.	82
Ilustración 44. Render propuesta final: Mobs. Elaboración propia. Render: Héctor Zaragoza.	83
Ilustración 45. Render propuesta final: Monitor Mobs. Elaboración propia. Render: Héctor Zaragoza.	84
Ilustración 46. Render propuesta final: Sensor Mobs. Elaboración propia. Render: Héctor Zaragoza.	85
Ilustración 47. Render propuesta final: Colores semáforo. Elaboración propia. Render: Héctor Zaragoza.	85
Ilustración 48. Formato de prueba: Monitor. Elaboración propia.	86
Ilustración 49. Pruebas de funcionalidad: Monitor. Elaboración propia.	87
Ilustración 50. Formato de prueba: Sensor. Elaboración propia.	88
Ilustración 51. Pruebas de funcionalidad: Sensor. Elaboración propia.	89
Ilustración 52. Entrevistas a especialistas. Elaboración propia.	91
Ilustración 53. Monitor en contexto de uso. Elaboración propia.	93

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Índice de tablas

Tabla 1. Estimación de pérdida sanguínea según el estado de choque. Elaboración propia con base en Vélez, G., et al., 2009.	30
Tabla 2. Componentes y consumo de corriente: Sensor. Elaboración propia.	76
Tabla 3. Componentes y consumo de corriente: Monitor. Elaboración propia.	76
Tabla 4. Simbología diagrama de flujo. Elaboración propia.	77
Tabla 5. Caracterización sensor de humedad. Elaboración propia.	79

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Dirección General de Bibliotecas UAQ

Introducción

Descripción del problema

Las Hemorragias Obstétricas (HO) representan la causa número uno en México y en el mundo de muertes maternas. Las consecuencias de este problema afectan principalmente a las embarazadas, pero tiene repercusiones en la familia, en casos de muerte materna y en el cuerpo médico y de enfermería, por posibles demandas en su contra.

El éxito del tratamiento de las HO se basa en dos principios, el trabajo en equipo y el tiempo, éste último ya que la supervivencia es de solo 60 % si se actúa en los primeros 20 minutos y disminuye a menos de 10 % en menos de una hora (Ruiz *et al.*, 2012). El desarrollo de dispositivos y técnicas que buscan dar solución a este problema se han concentrado en el tratamiento, el cual se clasifica en quirúrgico (suturas, histerectomía, etc.) y no quirúrgico (empaquetadura uterina, taponamiento y masaje uterino). Partiendo de lo mencionado, el diagnóstico oportuno de una hemorragia obstétrica es un punto clave en la resolución exitosa del padecimiento. Sin embargo, el único método de diagnóstico existente consiste en un afiche con imágenes que ejemplifican cómo se ve determinada cantidad de mililitros de sangre en diferentes condiciones, sean toallas de maternidad, sábanas, contenedores, etc.

Resultado del análisis de la problemática, apoyado en entrevistas a especialistas y pacientes, así como en métodos de observación, se encontraron los problemas relacionados a las HO, como: falta de inversión en equipo médico por parte del sector salud público, fomento a técnicas no funcionales, importancia del factor sociocultural al momento de seleccionar un enfoque para el tratamiento, el tipo de hospital (carácter público o privado), la

preparación y experiencia del cuerpo médico tratante, además de la dificultad de identificar los síntomas de una hemorragia obstétrica por parte de la paciente y del especialista, entre otros.

Existe una falta de atención temprana a pacientes, independientemente de la cantidad de sangre que pierdan, debido a escasez de personal en los hospitales públicos. Profundizando, se encontró que la única forma de diagnosticar con precisión una hemorragia obstétrica es mediante la cuantificación del volumen sanguíneo perdido.

La relación entre lo planteado estriba en que el monitoreo que se le da a las pacientes posparto consiste principalmente en la toma de signos vitales, los cuales pueden verse afectados por padecimientos diferentes a una hemorragia obstétrica. Además, las revisiones no ocurren en el tiempo indicado debido a que la cantidad de pacientes excede la del cuerpo médico tratante, por lo que el monitoreo se vuelve menos detallado y se le dedica menos tiempo, lo que deriva en que se pase por alto los signos de una HO.

Otro elemento importante por resaltar es que en una etapa posparto sin complicaciones pierde entre 200 y 300 ml de sangre (Moldenhauer, J. 2020), la pérdida de este volumen genera una serie de síntomas que pueden provocar incomodidad como lo son la inflamación, temperatura alta, sensibilidad, etc.

Asimismo, se debe considerar la situación emocional de la paciente, la cual se ve afectada por las hormonas liberadas en el embarazo y naturalmente, por el nacimiento del bebé, ya que, una vez ocurrido el parto, la atención de ésta se concentra en el recién nacido, ignorando los detalles de su condición. Como resultado a los factores mencionados, la persona no se encuentra en condiciones óptimas, ni físicas ni emocionales, para identificar la sintomatología de una posible amenaza, o bien, comunicarla.

Revisión de la literatura

Antecedentes

Existen diversos métodos y dispositivos que tienen como objetivo contener la hemorragia. Éstos se clasifican según la etapa de la HO en la que intervienen: prevención o contención. En lo referente a la primera, el único método para prevenir una hemorragia obstétrica es mediante la cuantificación de sangre, dándole seguimiento a la pérdida de ésta durante el parto y posparto y de esta manera, medir su desarrollo.

Con la intención de poder realizar una revisión de la sangre perdida, se han desarrollado productos que tienen como finalidad facilitar a los especialistas esta tarea. Éstos, según Belfort (2019) (Ilustración 1), pueden dividirse en:

- Recolección: haciendo uso de cortinas quirúrgicas con bolsillo graduado o mediante un aspirador quirúrgico que deposita la sangre en un contenedor graduado.
- Ayuda visual que ayude a relacionar la cantidad y apariencia de la sangre en superficies específicas como la toalla de maternidad, sábana del hospital, gasas, entre otros.
- Medición del peso total de los materiales contaminados con sangre y sustraer a éste el peso de éstos estando secos. La diferencia en gramos es aproximadamente la pérdida de sangre en mililitros.

Tras realizar un análisis de éstos, se llegó a la conclusión de que, en el caso de los referentes al apoyo visual, brindan información subjetiva en cuanto al volumen específico de sangre perdida ya que dependen del criterio y experiencia de quien los observe. A pesar de lo mencionado, éstos son los métodos más implementados por el sector salud público

Método de cuantificación

Recolección

Recolección

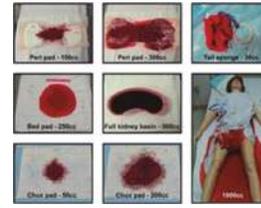
Ayuda visual



Contenedor quirúrgico graduado



Cortina quirúrgica de bolsillo



Apoyo visual para diagnóstico de HO

Ilustración 1. Métodos de cuantificación de sangre para HO. Elaboración propia.

en México debido a la facilidad de ejecución al no ser necesario realizar algún procedimiento extra además de la disponibilidad de costos, simplemente observar las gasas, sábanas, toallas de maternidad, etc., para estimar la pérdida.

A diferencia del método anterior, tanto la medición del peso del material quirúrgico y la recolección de sangre, son sistemas efectivos pues la cantidad que registran es más cercana a la realidad, no es exacta ya que puede verse contaminada con otros fluidos como líquido amniótico u orina, principalmente durante el parto. Sin embargo, en el caso específico de la recolección, los instrumentos necesarios para llevar a cabo este método no siempre se encuentran disponibles en los hospitales por lo que no resulta viable y en cuanto a la medición del peso de los instrumentos, no es factible debido a que requiere tiempo y personal médico con los que no siempre se cuenta en el caso de contención de una HO.

Es preciso destacar que los métodos descritos previamente son usados únicamente en el momento de contención de una hemorragia obstétrica, no existe un dispositivo diseñado específicamente para dar seguimiento a la paciente previo o posterior a dicha hemorragia. En este caso, el único método de recolección de sangre existente es mediante el uso de toallas maternas, gasas, sábanas, etc.

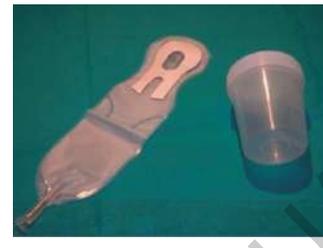
De igual manera, es importante revisar dispositivos existentes cuya función principal no esté orientada a la solución puntual de este problema puntual, pero algún elemento de estos pueda aplicarse al



Drenaje Penrose



Bolsa adhesiva perineal (BAP) aplicada en lactante



Bolsa adhesiva perineal con sonda y contenedor

Ilustración 2. Métodos no orientados a las HO: Recolección de líquido. Elaboración propia.

desarrollo de un dispositivo, lo cual describiremos como análogos (Ilustración 2).

Dentro de los dispositivos o métodos implementados durante un procedimiento ginecobiátrico, no necesariamente una hemorragia obstétrica, que tiene como objetivo dar seguimiento a la cantidad de sangre perdida está el drenaje Penrose (Ilustración 2), que permite a la sangre y otros líquidos salir de la región de la cirugía evitando así que el líquido se acumule debajo de la incisión (corte quirúrgico) y cause una infección (Sloan Kettering Institute, 2019). A éste se le inserta una bolsa en el extremo del tubo contrario a la herida con la intención de mantener en observación la cantidad de sangrado interno que existe en la paciente y evitar éste permanezca dentro de la cavidad abdominal funcionando como un método de almacenamiento y drenaje.

La principal desventaja de éste radica en que, por su naturaleza, su campo de aplicación se limita a cesáreas. Además de que, al mantener una sección de la herida medianamente expuesta, el riesgo de infección aumenta. Y que la implementación de dicho dispositivo resulta incómoda para la paciente y familiares, impactando a tal grado de repercutir en su proceso de recuperación, aumentando el tiempo de ésta o provocando problemas psicológicos colaterales como depresión o ansiedad. Otro detalle importante es que nuevamente, no está graduado por lo que la evaluación de la cantidad de sangre no es totalmente confiable y puede contaminarse con fluidos como orina, lo cual provoca una sobreestimación del sangrado.

Fuera del área ginecológica, en pediatría, cuando se requiere tomar una muestra de orina de un lactante, se realiza el cultivo mediante una Bolsa Adhesiva Perineal (BAP) ya que éste aún no cuenta con el desarrollo para controlar la micción. Este método consiste en fijar la bolsa en el área genital del bebé mediante un adhesivo. Una vez realizada la micción, una sonda la dirige hacia un contenedor para su almacenamiento y procesamiento (Moreno, *et al*, 2016).

Una de las principales desventajas de este método es el alto grado de contaminación de la orina que presenta, generando resultados falsos positivos, además de tener un impacto dermatológico en el lactante debido al constante roce de la piel con el dispositivo y en ciertas ocasiones, reacción alérgica al pegamento.

Considerando su posible aplicación ginecológica para la recolección y cuantificación de sangre en pacientes posparto, es necesario prestar atención a dos variables en específico. La primera, la forma de adherir la bolsa a la paciente puesto que la zona genital de ésta se encuentra sensible e inflamada debido al parto y contaminada con sangre y vello púbico por lo que un elemento adhesivo podría resultar molesto y perjudicial para la mujer. La segunda variable, se refiere a la dificultad de separar la uretra de la bolsa pues ésta puede contaminar con orina la muestra de sangre, haciendo imposible diferenciarlas y provocando una sobrestimación del volumen perdido.

Del siguiente producto, es importante resaltar el método de cuantificación basado en el flujo del fluido más que en la acumulación de éste, como lo vimos en los dispositivos anteriores. Diseñado por

Campo de aplicación

Enfermería

Enfermería



Smart Roller Clamp



Transfusion predictor

Ilustración 3. Dispositivos no orientados a las HO: Cuantificación de líquido. Elaboración propia.

Chun-Tung Lin y Yu-Han Lai, *Smart Roller Clamp* (Ilustración 3) tiene como objetivo facilitar el trabajo al cuerpo de enfermería en cuanto a la calibración de las soluciones intravenosas ya que elimina la posibilidad de error humano al desarrollar una interfaz que permite especificar la cantidad de solución, así como el tiempo de tratamiento requerido mediante el uso de perillas. De igual manera, integra un sistema de *Bluetooth* que se conecta a la estación de enfermería y genera alarmas cuando existe alguna complicación (bloqueo del flujo, escasas de solución, etc.) o cuando se ha concluido el tratamiento.

Siguiendo la misma línea, *Transfusion Predictor* (Jing J., et al., 2018) (Ilustración 3) tiene un objetivo similar al dispositivo anterior ya que cuantifica el flujo del fluido con la intención de alertar al paciente y doctor cuando éste se ha terminado. Un elemento importante es que su diseño está orientado a pacientes que realizan el proceso de transfusión de manera independiente o bien, no cuentan con la supervisión constante de especialistas, sean parte del cuerpo médico o de enfermería, situación que ocurre de igual manera en el caso de estudio.

Retomando el tema de recolección de orina, existe un dispositivo desarrollado por *Forte Medical* (2015) (Ilustración 4) que tiene como objetivo acumularla. *Peezy* está desarrollado bajo la premisa de evitar la contaminación de la sustancia mediante la reducción de elementos con los cuales ésta interactúa. Este dispositivo es únicamente para mujeres ya que su forma de uso consiste en colocarlo en el área genital y realizar el proceso de micción, la misma forma de éste permite que la orina se dirija al tubo de ensayo en el cual será analizada.

La aplicación de un dispositivo similar a *Peezy* enfocado a la recolección y cuantificación de sangre en una HO, representa un reto ya que éste al estar orientado al acopio de orina es difícil diferenciar entre micción y sangre, elemento importante para el caso de estudio al que se busca aplicar.

Otro aspecto significativo es que este dispositivo está diseñado para una aplicación momentánea en donde la paciente puede sostenerlo por poco tiempo y posteriormente retirarlo. En el caso de las mujeres posparto, no es posible realizar el proceso de esta manera, ya que es necesario mantener un control y revisión del sangrado por un periodo de mínimo 4 horas. Y, por último, el objeto de almacenamiento puede



Ilustración 4. Dispositivos no orientados a las HO: Productos comerciales. Elaboración propia.

resultar incómodo para la paciente, además, debido a la posición en la que éstas se encuentran, es factible que presente fugas. Sin embargo, es importante resaltar la adaptación de la forma del objeto al área genital femenina buscando el mayor confort de la mujer.

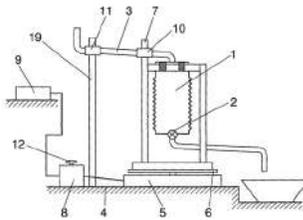
Pampers desarrolló en el 2019, *Lumi* (Ilustración 4), un sistema de pañales inteligentes que mediante la implementación de un sensor de humedad emite una alerta para avisar a los padres mediante una app que es necesario cambiar el pañal. Lo relevante de este producto para la investigación es la implementación de un nuevo método que identifica la cantidad de líquido que se encuentra en un objeto, en este caso pañal, y la alerta emitida al momento de sobrepasar un límite admitido.

Pensando en el caso de estudio, la aplicación de este método resulta factible ya que productos implementados en una HO como las toallas femeninas asemejan los pañales y es posible aplicar este método además de que el sistema de notificación resulta útil pues complementa el monitoreo hecho por los especialistas.

Existen productos que tienen como objetivo principal el almacenamiento y cuantificación de fluidos como la orina o sangre, el desarrollo de éstos ha llegado al punto de la protección intelectual mediante patentes, y algunos de éstos, los considerados más relevantes para la investigación, son mencionados a continuación:

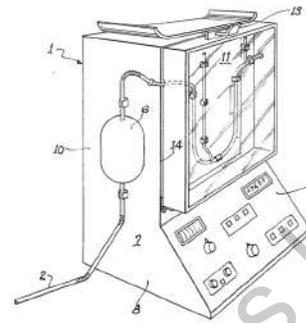
Teodor Akinfiyev, en conjunto con Roemi Fernández, Abraham Otero y Francisco Palacios, desarrollaron en el 2011 un dispositivo que permite medir la cantidad de fluido mediante el flujo (Ilustración 5).

Campo de aplicación	Nefrología	Quirúrgico
Método de cuantificación	Flujo	Densidad



Dispositivo para la medición de la cantidad de líquido que fluye

No. Patente: ES 2354794 A1
País: España



Blood-loss measurement apparatus

No. Patente: 4 562 842
País: Estados Unidos

Ilustración 5. Dispositivos no orientados a las HO: Patentes. Elaboración propia.

Aunque el aparato cuenta con una construcción compleja conformada por un alto número de piezas, las mencionadas a continuación son las más relevantes. Está compuesto por una báscula (5) instalada en una base (4) que contiene una plataforma para medir peso (6) en la que se coloca un soporte (7) del que pende el receptor de líquido (1).

El principio bajo el cual está desarrollado este dispositivo es novedoso puesto que no centra el principio de su funcionamiento en la acumulación del líquido sino en el flujo de éste, aunado a la mención de los autores (2011) respecto a que, aunque ha sido concebido principalmente para la monitorización automática del flujo de orina de un paciente sondado, no se descarta su aplicación para otros líquidos, como puede ser la sangre, lo cual explora la posibilidad de aplicación para campos como la ginecología y para mayor exactitud, las hemorragias obstétricas.

Sin perder de vista lo anterior, cabe destacar la complejidad del dispositivo en cuanto a su composición, cantidad de elementos y procedimiento para su medición, lo cual, teniendo en cuenta nuestro campo de aplicación puede no resultar conveniente. Aunado a que sus principios son meramente mecánicos, y en la cuestión de la cuantificación el proceso es mediante fórmulas y cálculos físicos, que, a pesar de no ser extremadamente complejos, entorpecen el uso del dispositivo y permite la existencia de errores humanos. En la actualidad

se cuenta con tecnología más avanzada que es probable permita una optimización del proceso, así como una reducción de partes.

Por otro lado, orientado al continuo monitoreo de la pérdida de sangre durante una cirugía, fue desarrollado un dispositivo por Diane Morfeld y Henri Charmasson (1986) (Ilustración 5). Éste es un aparato que succiona la mezcla de sangre y solución salina empleada para irrigar durante las cirugías, mide secuencialmente los volúmenes y densidades de pequeñas muestras de la sangre-solución que es llevada mediante un conducto desde la incisión hasta el dispositivo de succión.

El principio bajo el cual se basa el dispositivo es en la diferencia de las respectivas densidades de los fluidos con la intención de calcular el volumen exacto de sangre contenido en cada muestra. La pérdida de ésta es acumulada continuamente y mostrada en un display que permite una lectura fácil, para que se realice una transfusión de la correcta cantidad al paciente con la intención de mantener su presión arterial durante la operación. Cuenta de igual manera con una báscula para pesar esponjas, gasas, etc., que absorbieron sangre o mezcla sangre-solución durante la cirugía. El volumen calculado correspondiente de lo absorbido se agrega automáticamente al cúmulo de volumen sanguíneo perdido.

Este dispositivo resulta relevante para la investigación debido a que, como se mencionó anteriormente, un elemento importante en la cuantificación de pérdida de volumen sanguíneo en las hemorragias obstétricas es la diferenciación entre sangre y orina, acción que el descrito anteriormente es capaz de lograr cuando se refiere a sangre y solución salina, por lo que es factible de adaptar a otros líquidos de interés. Otro aspecto destacable del aparato es la báscula de la que dispone ya que, si bien su aplicación resulta de más ayuda durante una cirugía, en una aplicación obstétrica podríamos hablar de un dispositivo que dé seguimiento a la paciente desde el parto hasta el posparto, siendo más completo y adecuado el tratamiento que ésta reciba.

Por otro lado, el tamaño del aparato resulta inconveniente para uso personal y nuevamente, como consecuencia a su fecha de desarrollo, es bastante factible que nuevas tecnologías sean capaces de reemplazar elementos o piezas, volviéndolo más práctico y compacto.

Campo de aplicación

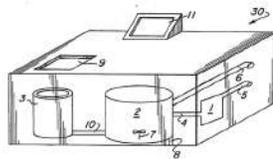
Quirúrgico

Plomería

Método de cuantificación

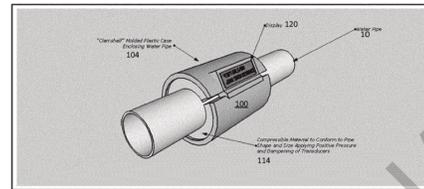
Muestreo

Velocidad del flujo



Blood Loss Measurement

No. Patente: 4 773 423
País: Estados Unidos



Apparatus for Fluid Flow Measurement

No. Patente: 129 101 A1
País: Estados Unidos

Ilustración 6. Dispositivos no orientados a las HO: Patentes. Elaboración propia.

La siguiente patente (Hakky, 1988) (Ilustración 6) explora un nuevo método de determinar la cantidad de sangre perdida durante un procedimiento quirúrgico. Este dispositivo y método consiste en recolectar una muestra de sangre del paciente previo al procedimiento, midiendo el nivel de hemoglobina en ésta, tomar una muestra de sangre y de fluido patológico removido del paciente durante la cirugía y medir la hemoglobina de éstos, comparar los niveles de esta sustancia en la sangre previa al procedimiento y posterior a éste y emplear esta comparación para determina el volumen de sangre perdida durante cirugía.

Del presente dispositivo destaca el principio bajo el cual se cuantifica el volumen perdido no es mediante la recolección de sangre si no a través de un muestreo y análisis de una sustancia propia de ésta. Lo anterior resulta importante para la investigación ya que, siguiendo este método, no es necesaria la acumulación de sangre, sólo una toma de muestras de ella. Sin embargo, la desventaja de éste es que dicho aparato y método supone una pérdida estándar del fluido y no una hemorragia severa, por lo que el proceso de muestreo significa un aumento en el tiempo de contención de la HO.

En un ámbito diferente a la medicina, Jeffrey Leaders (2012) (Ilustración 6) desarrolló un medidor de flujo de fluido que calcula la velocidad del agua u otro fluido que fluye a través de una tubería comparando mediciones de la velocidad del agua a una o más plantillas predeterminadas. El medidor es configurado para generar señales de medición mediante sensores ultrasónicos, éste transmite los resultados a un servidor a través de una interfaz inalámbrica, dentro

de las funciones de medición se encuentran: un cálculo adecuado de la pérdida de flujo, detección de flujo anormal y velocidades lentas continuas.

El dispositivo puede ser alimentado por una batería, línea eléctrica o una célula solar. De lo anterior, es importante la configuración con la que cuenta el dispositivo orientado a la detección de flujo anormal, así como la sensibilidad de éste a diferentes velocidades. Además de la versatilidad que presenta en lo referente a la carga del dispositivo.

Si bien los métodos mencionados tienen un objetivo similar, la cuantificación de líquidos, sean sangre, orina, solución salina u otros, es importante enfatizar las diferencias que existen entre ellos, las cuales varían entre el principio bajo el cual miden el volumen perdido de sangre o bien, la forma del dispositivo que lo hace. Más allá de lo anterior, se identificaron áreas de oportunidad en cada uno de los dispositivos descritos siendo éstas nuestras principales herramientas para el diseño de un nuevo dispositivo que monitoree la pérdida de sangre de la paciente posparto.

Marco teórico

En esta sección se presenta la teoría existente respecto al problema de investigación con el objetivo de brindar recursos que faciliten su comprensión, a partir de conceptos clave relacionados al fenómeno de estudio sentando las bases para el desarrollo de una posible solución debidamente fundamentada.

Complicaciones en el embarazo

Con la intención de brindar una comprensión integral de la problemática, se aborda a continuación la teoría referente a las dificultades que enfrentan las mujeres embarazadas, ya que, a pesar de que gran parte de los embarazos llegan a término de forma satisfactoria y los partos transcurren sin problema alguno, siempre existe la posibilidad de riesgo. Esto, según las estadísticas del Ministerio de Salud de Panamá (2015), 15% de las embarazadas presentan alguna complicación que requiere de atención y monitoreo especializado con el objetivo de la supervivencia materna y del bebé.

Según el contexto en el que ocurren las muertes maternas, se identifican tres razones por las cuales existe una demora en el tratamiento, la primera recae en la paciente y familiares al no tener la capacidad de reconocer un problema grave o emergencia, la segunda se da cuando no se busca una atención inmediata o no se tiene acceso a ella, y la tercera, referente a las instituciones de salud, es cuando no se da un tratamiento rápido y eficaz (Ministerio de Salud de Panamá, 2015).

Las diferentes complicaciones que puede tener un embarazo se clasifican a partir de diferentes parámetros, por ejemplo, según la etapa de gestación en la que se encuentre la paciente como son los embarazos ectópicos o abortos espontáneos, que corresponden a complicaciones de la primera mitad del embarazo. Existen también otros problemas, durante el parto y posparto, como los trastornos hipertensivos o complicaciones como lo es la Hemorragia Obstétrica (HO).

Las HO representan la primera causa de muerte materna en el mundo, ocurre en el 5% de todos los nacimientos y ocasiona 140,000 muertes al año, que equivalen a una muerte cada 4 minutos (Rani, 2017). La Organización Mundial de la Salud refiere que la hemorragia obstétrica es la causa de 25% de las muertes maternas que ocurren en todo el mundo.

Debido a los altos números de Mortalidad Materna (MM) en México, se implementaron medidas de atención con la intención de disminuir la razón de MM y en el 2019, ésta fue calculada de 31.2 defunciones por cada 100 mil nacimientos estimados, lo que representa una disminución de 12.8 % respecto de lo registrado al año anterior.

Sin embargo, la hemorragia obstétrica se convirtió en la primera causa de MM seguida de las enfermedades hipertensivas, las cuales hasta el 2018, eran la primera causa de muerte materna. Lo que refleja que éstos redujeron su número de defunciones mientras que las HO aumentaron o mantuvieron su tasa de mortalidad, volviéndose entonces la principal problemática de esta índole a resolver (Dirección General de Epidemiología, 2019).

Únicamente en Querétaro, del 2002 al 2017 hubo 250 muertes maternas de las cuales el 15% fue por hemorragia obstétrica como causa básica, definida como la enfermedad o lesión que desencadenó la secuencia de eventos que condujo a la muerte, o las circunstancias

del accidente o agresión que provocaron la lesión mortal. Resulta importante mencionar que en el estado, durante el 2015 (INEGI), el 100% de las muertes maternas ocurrieron en un hospital público, identificando la importancia e impacto que tiene el tipo de hospital, así como el equipo médico en el tratamiento de la HO y la supervivencia materna.

Hemorragia obstétrica

La hemorragia obstétrica (HO) tradicionalmente se refiere a una pérdida estimada de sangre de 500 ml después de un parto vaginal y de 1000 ml después de una cesárea. (Ruiz, *et al.*, 2012). Sin embargo, esta definición fue actualizada en el 2017, estableciendo que es la pérdida sanguínea mayor o igual a 500 ml (IMSS, 2017).

Por la naturaleza de la condición, las hemorragias obstétricas afectan a mujeres embarazadas en general. Aunque que las consecuencias de éstas tienen un impacto en la familia de la embarazada y en algunas ocasiones, en el médico tratante, en el sentido legal. Esto ya que en repetidas ocasiones enfrentan demandas por parte de las pacientes y/o familiares por un mal manejo del caso.

Identificar y tratar una hemorragia obstétrica de manera oportuna es sumamente importante ya que de lo contrario se corre el riesgo de enfrentar lo que se conoce como shock hemorrágico, el cuál sobrepasa los mecanismos reguladores naturales del cuerpo humano, y lleva a complicaciones como la isquemia tisular, falla de órganos, isquemia miocárdica y muerte (Parra, 2011).

Causas

Existen factores que aumentan el riesgo de sufrir una HO durante la primera mitad del embarazo como lo es la edad, puesto que mujeres de menos de 20 años y más de 30 años cuentan con un grado de vulnerabilidad mayor, mujeres que hayan tenido más de una gesta anteriormente y quienes han sido sometidas a cesáreas previamente, o bien quienes ya han sufrido algún tipo de complicación durante el embarazo actual o alguno previo.

La realidad es que cualquier embarazada se encuentra expuesta a sufrir una hemorragia obstétrica, especialmente en la etapa del parto

y posterior a éste pues casi dos terceras partes de las hemorragias no tienen factores de riesgo identificables.

Entre las causas de hemorragia obstétrica en el primer trimestre de la gestación están el aborto, la enfermedad trofoblástica y el embarazo ectópico. Las hemorragias del segundo y tercer trimestre son ocasionadas por la placenta previa, el desprendimiento prematuro de placenta normo-inserta, según la semana de gestación en la que ocurra el sangrado y la gravedad de ésta, puede incurrir en un parto prematuro o bien, continuar bajo una intensa observación médica.

Puede ocurrir también durante el parto, en cualquiera de sus etapas o bien, en el puerperio. (Ruiz *et al.*, 2012). En este periodo, las principales causas son las conocidas como 4T: Tono (atonía uterina), Tejido (retención de restos placentarios), Trauma (lesiones cervicales o vaginales durante el parto), Trombina (desórdenes de coagulación) y acretismo placentario (Chatrath *et al.*, 2016).

Como se mencionó al principio de esta sección, según el Ministerio de Salud de Panamá (2015), existen situaciones o factores que dificultan el tratamiento de una complicación en el embarazo, referentes a la incapacidad por parte de la mujer y familia en reconocer la existencia de un problema, el no buscar o bien, no tener acceso a una atención especializada y a instituciones de salud, teniendo la capacidad de brindar un tratamiento rápido y eficaz.

De lo anterior podemos concluir que las mujeres provenientes de zonas remotas y de escasos recursos son más propensas a tener una complicación durante el embarazo que desencadene una hemorragia obstétrica, pues existen factores que impiden a las mujeres recibir o buscar atención durante el embarazo, parto y puerperio. Éstos son: pobreza, distancia, desinformación, inexistencia de servicios adecuados y prácticas culturales (OMS, 2019).

Según datos obtenidos del INEGI, durante el año 2018 se registraron 40, 726 nacimientos en el Estado de Querétaro, de los cuales un 98.65% ocurrieron en un hospital o clínica (78.8 % fue en hospital público y 19.84% en hospital privado), 0.4% ocurrieron en domicilio y un 0.15% en la categoría de otros.

Síntomas

Identificar una HO puede resultar difícil ya que en los primeros síntomas o signos de una hemorragia a menudo son confundidos con síntomas propios del embarazo como lo es la taquicardia. En el caso de las hemorragias que ocurren después del parto, uno de los principales problemas es que, si la mujer tuvo una cesárea, la anestesia impide que ésta reconozca los síntomas, o bien, si fue parto natural en muchas ocasiones las complicaciones se presentan cuando la mujer se encuentra fuera del hospital o clínica, y tarda en llegar a la zona de atención.

Los síntomas de la pérdida de volumen de sangre, además del aumento del ritmo cardíaco son: pérdida de volumen sanguíneo por vía vaginal, superior a los 500 ml, hipotensión, diaforesis, obnubilación, aumento frecuencia respiratoria, alteración en el estado mental y pérdida del estado de consciencia. (IMSS, 2017).

La forma que se implementa para medir el desarrollo de la hemorragia es por medio de la cuantificación de sangre, éstas se dividen en etapas en donde se percibe el deterioro de la paciente conforme aumenta la pérdida del volumen sanguíneo (Tabla 1).

Clínicamente, es posible dividir un shock hemorrágico en tres fases: controlado, no controlado y progresivo-irreversible (Parra, 2011). En la primera, la hemorragia fue contenida antes de un colapso cardiovascular, en caso de no ser así, se entra en la segunda fase, la cual se define por la hipotensión que persiste 10 minutos posteriores a la estabilización. Se

Pérdida de volumen (ml)	Sensorio	Perfusión	Pulso	Presión arterial sistólica	Grado del choque
500 - 1000 ml	Normal	Normal	60 - 90	Normal	Compensado
1000 - 1500 ml	Normal y/o agitada	Palidez, frialdad	91 - 100	80 - 90	Leve
1500 - 2000 ml	Agitada	Palidez, frialdad más sudoración	101 - 120	70 - 80	Moderado
2000 - 3000 ml	Letárgica, inconsciente	Palidez, frialdad más sudoración (llenado capilar >3 segundos)	>120	<70	Severo

Tabla 1. Estimación de pérdida sanguínea según el estado de choque. Elaboración propia con base en Vélez, G., et al., 2009.

entra en la última fase cuando el estado de vasoconstricción prolongada que finalmente se transforma en un shock vasodilatado.

Tratamiento

La hemorragia en el embarazo, parto o puerperio es considerada una emergencia obstétrica, lo cual lleva implícito que la supervivencia es de solo 60 % si se actúa en los primeros 20 minutos y disminuye a menos de 10 % en menos de una hora (Ruiz *et al.*, 2012).

Es importante mencionar que el flujo sanguíneo de la arteria umbilical en etapas avanzadas del embarazo es de 500 ml por minuto, por lo que es necesario una atención rápida y completa para salvaguardar la vida de la madre (Apaza *et al.*, 2015).

Los principios generales de manejo de las HO según Belfort (2019) consisten en:

1. Cuantificar la pérdida de sangre: esto se recomienda hacer en todos los partos, a pesar de no tener factores de riesgo, como medida preventiva ya que la demora en el reconocimiento de un alto volumen de pérdida de sangre es uno de los principales factores de la muerte materna por hemorragia y un indicador importante para la implementación de intervenciones salvavidas. Como ya se mencionó previamente en el documento, algunos métodos para cuantificar son:
 - Recolectar sangre en recipientes de medición graduada, incluyendo cortinas quirúrgicas con bolsillos calibrados.
 - Utilizar ayudas visuales (p. Ej., Afiches) que correlacionen el tamaño y la apariencia de la sangre en superficies específicas (p. Ej., Almohadilla de maternidad, sábana, esponja de regazo) con el volumen de sangre absorbida por esa superficie. La programación regular de capacitación estandarizada en el uso de estos cuadros puede ser útil para esta evaluación.
 - Medir el peso total de los materiales con sangre y reste el peso conocido de los mismos materiales cuando esté seco. La diferencia de peso entre húmedo y seco en gramos se aproxima al volumen de sangre en mililitros.

2. Realizar diagnóstico oportuno e intervención temprana: reiterando lo ya mencionado, la puntualidad en el reconocimiento de la HO, la determinación de la causa y el inicio del tratamiento son críticos. La intervención temprana puede prevenir el shock (perfusión inadecuada y oxigenación de los tejidos) y el desarrollo de la tríada potencialmente letal de hipotermia, acidosis y coagulopatía.
3. Trabajar en equipo: según Belfort (2019), los programas de capacitación clínica que fomentan un enfoque de equipo para el reconocimiento temprano de la hemorragia obstétrica pueden mejorar los resultados al involucrar a los integrantes necesarios antes de que ocurran hipovolemia y shock no compensado. Obstetras, parteras, enfermeras, anestesiólogos, hematólogos, personal de bancos de sangre, medicina de laboratorio, subespecialistas quirúrgicos (p. Ej., Vascular, urología) y radiólogos intervencionistas pueden estar involucrados en el manejo de la HO. La coordinación es un elemento esencial y puede ser facilitada por protocolos y diagramas de flujo que anticipen la comunicación y funcionamiento del equipo.
4. Monitorear el sangrado, los signos vitales y los resultados de laboratorio: el monitoreo materno cercano es crítico para evaluar el mejor enfoque y la agresividad de la intervención, y requiere una evaluación por parte del médico tratante. La evaluación de laboratorio incluye recuento sanguíneo completo, estudios de coagulación, niveles de potasio y calcio ionizado.
5. Tener en mente las metas del tratamiento, las cuales son:
 - Restaurar o mantener un volumen circulatorio adecuado para prevenir la hipoperfusión de órganos vitales.
 - Restaurar o mantener una oxigenación adecuada de los tejidos.
 - Revertir o prevenir la coagulopatía
 - Eliminar la causa obstétrica de la hemorragia obstétrica
6. Elegir un enfoque del tratamiento: las posibles intervenciones para el tratamiento de la HO se enlistan a continuación:
 - Drogas: oxitocina, ácido tranexámico, ergots, carboprost, misoprosol, dinoprostón, factor humano recombinante VIIa.
 - Intervenciones quirúrgicas: Reparar laceraciones, legrado, sutura de compresión uterina (p. Ej., Sutura de B-Lynch), ligadura de la arteria uterina, ligadura de la arteria utero-

ovárica o pinza cruzada, embalaje pélvico, torniquete uterino, escisión miometrial focal, uso de pegamentos y parches de fibrina para cubrir áreas de exudación y promover la coagulación, colocación de suturas hemostáticas directamente en el lecho placentario, oclusión con balón endovascular reanimante de la aorta (REBOA), ligadura de la arteria ílica interna (arteria hipogástrica), compresión de la arteria aórtica / ílica, histerectomía supra cervical o total.

- Intervención de cirugía endovascular: Embolización arterial selectiva, oclusión intermitente con balón aórtico, oclusión común del globo de la arteria ílica.
- Banco de sangre: Glóbulos rojos empaquetados, plaquetas, plasma fresco congelado, crioprecipitado.
- Intervenciones no quirúrgicas: masaje uterino, líquidos intravenosos, taponamiento intrauterino con balón intrauterino o dispositivo alternativo (p. Ej., Bulbo de sonda vesical, sonda Sengstaken-Blakemore), empaquetadura uterina (p. Ej., Empaquetadura de calibre 4 pulgadas).

Un elemento importante es el equipo de trabajo, en él recae el éxito o fracaso del caso. Una característica de éste es que debe ser multidisciplinario, capacitado para emergencias obstétricas, así como para la optimización de tiempo y la ejecución de maniobras que reduzcan las probabilidades de muerte materna. Dicho equipo, en México, es nombrado Equipo de Respuesta Inmediata (ERI) (Martínez *et al.*, 2015).

La formación o activación debe ocurrir en el lugar y momento del diagnóstico de la HO, esto puede ocurrir en diversos sitios, los más comunes son: sala de expulsión (33.9%), piso (27.1%), admisión (18.6%), quirófano (8.3%), labor (6.8%) y recuperación (5.1%).

Los integrantes del ERI y sus funciones se enlistan a continuación:

- Coordinador del código

Debe ser el médico general o el especialista en ginecología y obstetricia, en su ausencia será la persona con mayor experiencia en el manejo de esta situación, siendo sus funciones:

- Asigna a los asistentes 1 y 2 además de al circulante

- Clasificar el estado de choque
- Busca la causa del choque hemorrágico e inicia el tratamiento
- Evacua la vejiga para medición del gasto urinario
- Ordena la aplicación de los hemocomponentes y medicamentos, y brinda la información requerida a los familiares o acompañantes.

- Asistente 1

Puede ser médico, enfermera o auxiliar de enfermería que, posicionado en la cabecera de la paciente, le explica los procedimientos a seguir y le brinda confianza.

- Si el feto aún está in útero y tiene más de 20 semanas deberá mantener la posición de la paciente con desviación hacia la izquierda y garantizar el suministro de oxígeno.
- Toma la presión arterial y el pulso, conserva la temperatura de la paciente y monitoriza con oximetría de pulso, informa al coordinador el estado de la infusión de líquidos y los signos clínicos de choque para ajustar el volumen a suministrar, anota los eventos en la hoja de registro del ERI y, si se requiere, colabora con el coordinador en la realización de los procedimientos.

- Asistente 2

Puede ser médico, enfermera o auxiliar de enfermería.

- Garantiza el acceso y funcionamiento de 2 vías venosas con catéteres #14 o #16
- Toma las muestras sanguíneas en tres tubos (tapa roja, morada y gris), e inicia la infusión de 2000 ml de cristaloides calentados a 39 °C (bien sea en microondas, o con electrodo en agua, por 2 minutos).
- Realiza las órdenes de laboratorio necesarias (hemoglobina, hematocrito, plaquetas, tiempo de protrombina, tiempo parcial de tromboplastina, fibrinógeno, pruebas cruzadas y clasificación sanguínea).

- Circulante(s):

Puede ser el auxiliar de enfermería u otra persona de la institución que esté capacitada para su función.

- Entrega al asistente 2 los primeros 500 ml de cristaloides a la temperatura que se encuentre e inicia el calentamiento de los líquidos restantes.
- Identifica adecuadamente los tubos y verifica que lleguen oportunamente al laboratorio.
- Mantiene contacto con el coordinador del ERI para garantizar la información oportuna y veraz de la condición de la paciente a los familiares.
- Recluta más personal si se requiere.
- Colabora con el coordinador en la realización de procedimientos en caso de ser requerido.

Consecuencias

En cuanto a las consecuencias de las HO, resulta importante hacer una división de éstas dependiendo si son resultado de muerte materna o supervivencia de la madre con secuelas.

Supervivencia materna con secuelas

Las consecuencias físicas de la hemorragia obstétrica consisten en la histerectomía (extracción del útero), ooforectomía (extirpación de ovarios), coagulación intravascular diseminada, transfusiones masivas, daño renal aguda, síndrome de Sheehan, SDRA (Velásquez *et al.*, 2013), entre otras, dependiendo de la forma en la que se trató la HO y las condiciones de la paciente.

Las consecuencias enlistadas previamente son secuelas que traen consigo una serie de situaciones bajo las cuales la madre tiene que vivir por el resto de su vida, como la extracción total o parcial del útero y, por consiguiente, la incapacidad de la mujer de volverse a embarazar.

Aunado a esta situación en particular, algunos doctores optan por retirar los ovarios con la intención de prevenir un futuro cáncer, implicando para la paciente, menopausia prematura.

En cuanto al componente social, psicológico y emocional de las consecuencias, según entrevistas realizadas a médicos especialistas y pacientes que han experimentado estas circunstancias, ambos cuentan con elementos en común como lo es el aislamiento, el rechazo hacia la paciente o hacia ella misma, la sensación de que falló en su rol como

madre o que ya no es lo suficientemente mujer por el simple hecho no poder concebir.

De manera personal, la mujer experimenta una sensación de depresión y/o frustración hacia ella misma o hacia el cuerpo médico, o bien, en ciertos casos algunas pacientes tienen una sensación de optimismo relacionada a la supervivencia.

El estado emocional impacta en su rol en la familia, provocando disminución de ingresos, conflictos maritales o con sus hijos, lo que en muchas ocasiones termina en la ruptura o fragmentación familiar.

Muerte materna

Según Lozano *et al.*, (2016) la mortalidad materna debe ser vista como una tragedia familiar y social, considerarse más allá de una cifra. La pérdida de un elemento tan importante como la madre, quien es un eje vital en las familias, tiene implicaciones en éstas como un cambio de roles en los hijos, especialmente las mujeres quienes se ven en la necesidad de abandonar sus estudios y convertirse en una madre sustituta para sus hermanos menores.

Implica también una disminución de ingresos económicos pues gran parte de las mujeres que mueren forman parte de la sociedad trabajadora por lo que los hijos, generalmente los varones deben asumir el rol de un ente proveedor.

Además, los hijos crecerán con carencias afectivas que pueden influir en un futuro en su personalidad y en la calidad de vida a la que aspiran, siendo propensos a caer en adicciones (Lozano *et al.*, 2016). Los niños huérfanos pueden verse vulnerables a desarrollar trastornos de ansiedad, depresión, irritabilidad, etc.

En lo que respecta a las implicaciones sociales que tiene la muerte materna, es importante mencionar que ésta muchas veces es consecuencia de una situación de marginación social y económica en la que la mujer se ve obligada a estar en condiciones precarias. Esto muchas veces significa dejar a su hijo (a) desprotegido pues no existen leyes eficaces que respondan por los niños, o bien, las fusiones familiares que muchas veces causan traumas en las familias, especialmente los hijos.

Diseño para la salud

El presente apartado del marco teórico comprende la información necesaria para el desarrollo de la posible solución desde la perspectiva del diseño industrial, partiendo de conceptos que faciliten la comprensión de ésta, así como su contexto. La aplicación de esta disciplina al desarrollo de un dispositivo de carácter médico surge de la necesidad de dotar a un objeto cuyo objetivo sea la resolución de un problema de salud con elementos que complementen su función y mejoren su desempeño.

Briede-Westermeyer *et al.*, identifican la necesidad de un trabajo interdisciplinario en el tema del diseño de productos médicos ya que existe una deficiencia por parte de los profesionales de la salud en temas referentes al usuario y a la comprensión integral de la problemática a atacar, mientras que los diseñadores industriales, como resultado de su formación, cuentan con estas habilidades, pero fallan en entender a profundidad los temas relacionados a la salud.

El diseño industrial (DI) es una disciplina que tiene como principal objetivo la creación y desarrollo de conceptos y especificaciones que optimizan la función, el valor y la apariencia de los productos y sistemas para el beneficio mutuo tanto del usuario como del fabricante (*Industrial Designers Society of America*, 2015). Éste cuenta con una amplia variedad de campos de aplicación que van desde packaging hasta diseño de dispositivos médicos, en lo relacionado a este último Enrique Martinell (2016), busca hacer la distinción entre el diseño de productos convencionales y los enfocados al área médica.

Martinell (2016) parte de que el DI en su aplicación general tiene como beneficiarios principales el usuario y el fabricante, y en el caso de los dispositivos médicos, existe un tercer elemento a considerar en el desarrollo de éstos, el paciente. Si bien usuario y paciente pueden ser considerados iguales, el contexto y uso del producto genera necesidades distintas en donde el usuario puede ser un médico o personal de salud.

Diseñar un producto para la salud siguiendo un proceso convencional de diseño industrial en el que el principal objetivo es la funcionalidad del objeto en cuestión significa ignorar completamente las otras dimensiones que debe abarcar el diseño, así como necesidades importantes de los involucrados. La experiencia final que propone

nuestro producto debe formar parte de las prioridades fundamentales del diseño (Hancock, P. *et al.*, 2005), con la intención de optimizar la experiencia del usuario y así mejorar la calidad de vida de todos los participantes en el proceso.

Reconocer la importancia de las diferentes dimensiones que conforman a los seres humanos nos impulsa a identificar y explorar el impacto que pueden tener éstas en cada individuo (Hancock, P. *et al.*, 2005).

Es obligación del diseño atender las demandas de todas las personas implicadas en el uso del producto, teniendo en consideración el sentido de bienestar, confort del paciente y la usabilidad. El primero es definido genéricamente como el estado en que las personas tienen la capacidad y la posibilidad de llevar una vida digna, buena salud y buenas relaciones sociales (Gualdrón, 2018) viendo al diseño como un potenciador de esto mediante lo que previamente denominamos usabilidad, Huelves *et al.*, (2009) definen ésta como el nivel con el que un producto se adapta a las necesidades del usuario.

Lo anterior con base a los cuatro ejes del diseño industrial: función, ergonomía, estética y producción.

- **Función:** Es definida como la “finalidad útil, cometido, servicio que presta el producto para contribuir a la satisfacción de las necesidades humanas” (Fernández A. *et al.*, 2015). Es importante diferenciar la función del uso, la primera, ya definida, existe por sí misma mientras lo haga el producto mientras que el uso es una variable dependiente del usuario pues es éste quien lo define.
- **Ergonomía:** Se define como la disciplina que estudia las relaciones que se establecen recíprocamente entre el usuario y los objetos de uso al desempeñar una actividad cualquiera en un entorno definido (Flores, C. 2001). La ergonomía aporta elementos importantes al desarrollo de un proyecto que constituyen parámetros y requerimientos del producto final.
- **Estética:** Fernández A. *et al.*, la define como una manera de relacionarnos con el entorno sensible que afecta al ser sensible del hombre. En el ámbito del diseño de productos, la estética se refiere a la respuesta del usuario ante el objeto partiendo de la estimulación de los sentidos: tacto, gusto, visión, olfato y oído.

- Producción: Se refiere a todos los procesos relacionados con las necesidades del usuario y los recursos del productor (Cuffaro, D., 2006).

En una jerarquía de necesidades a resolver al momento de diseñar un dispositivo para la salud que cuenta con una interacción hombre-máquina, Hancock *et al.*, (2005) establecen que la seguridad del usuario, así como la funcionalidad del producto son requerimientos obligatorios, propios de la ergonomía, que deben asegurarse antes de continuar con las siguientes metas del diseño. Ésto pues en ellos recae la confianza que el usuario desarrolla en el sistema y por consecuencia la posibilidad de que el dispositivo sea aceptado e implementado.

Vemos en la Ilustración 7 que el término hedonomía busca estudiar la satisfacción que genera el uso de un producto a través de la individualización y la experiencia agradable que pueda generar éste. Es posible identificar también que estos elementos se encuentran fuera del área que cubre la ergonomía y, en consecuencia, fuera del área de aplicación de muchos productos, ésto pues es una disciplina cuyas metas se vuelven una utopía, ya que en numerosas ocasiones el simple hecho de lograr un buen grado de usabilidad significa un reto.

Profundizando en la definición previamente dada de usabilidad, ésta busca satisfacer tres metas principales en su aplicación a un objeto:

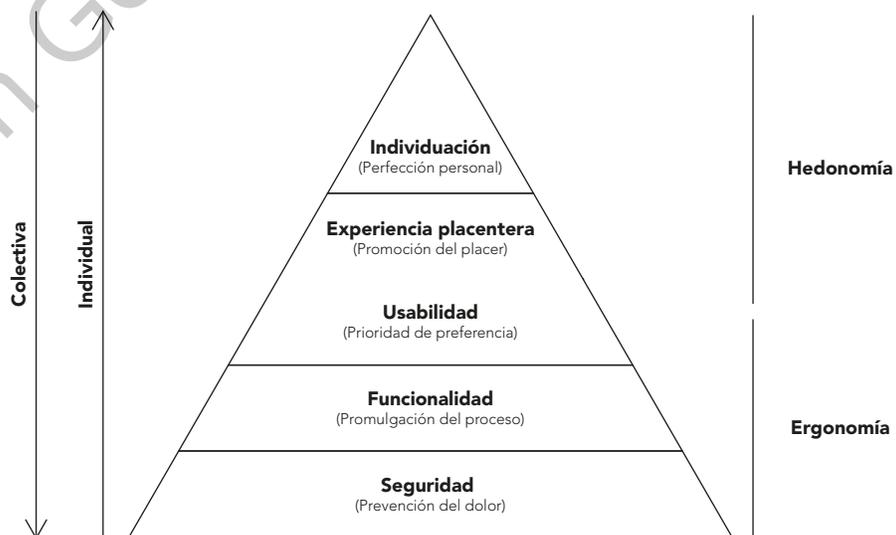


Ilustración 7. Jerarquía de necesidades ergonómicas y hedonómicas. Elaboración propia con base en Hancock *et al.*, 2005.

efectividad al momento de usarse, eficiencia en el aprendizaje de uso y satisfacción por parte del usuario (Preece *et al.*, 2002). Es hasta años recientes que ésta última meta ha cobrado importancia durante el desarrollo un producto puesto que como mencionamos anteriormente, la función y seguridad, si bien son elementos vitales en la concepción de un producto, la experiencia que tenga el usuario con el objeto, así como la satisfacción que éste genere es de igual importancia pues impacta a todos los involucrados en el sistema y en el entorno.

En el caso específico de esta investigación, una experiencia satisfactoria entre el dispositivo médico, el cuerpo de salud y la paciente son elementos clave en el tratamiento del padecimiento pues una efectiva comunicación e interacción entre los individuos del sistema significa una alta probabilidad de éxito en la contención de la hemorragia.

Respecto a la interacción del sistema producto-usuario-paciente-entorno, es importante atender a los requerimientos de uso de los especialistas que emplean el dispositivo, para esto es necesario realizar un proceso de investigación y observación que permita identificar en qué consisten éstos, Martinell (2015) hace el reconocimiento de que el proceso de desarrollo de un dispositivo médico consiste más en un proceso de descubrimiento que de creación.

Marli Mesibov (2018), destaca un problema importante al momento de realizar un proceso de diseño de dispositivos médicos, el cual consiste en que durante el desarrollo del producto no buscamos el apoyo complementario de expertos en el tema, lo cual resulta primordial para el funcionamiento adecuado del dispositivo. Los diseñadores comúnmente se concentran únicamente en la opinión del usuario-paciente, la cual puede estar viciada por sus experiencias y su comprensión parcial de su condición lo que los lleva a externar un deseo que muchas veces no es real o bien, no es lo que realmente necesitan.

Por supuesto, los pacientes buscan sentirse mejor, pero éstos pueden sólo pueden suponer cómo lograr esto, es a través de una comunicación entre todos los individuos involucrados que realmente pueden tener acceso a una posible solución puesto que permite comprender todas las aristas del problema.

Buchanan (2001) señala la importancia de reconocer que expandir la concepción que tenemos del diseño tradicional a un nuevo enfoque que considere y comprenda las interacciones y el ambiente en que se desenvuelve un producto. Lo anterior partiendo de la necesidad de comprender la naturaleza externa e interna de los productos diseñados.

En un proceso de diseño convencional, los aspectos externos a considerar son aquellos referentes a la función, el material, el medio de producción, etc. Y aunque esta nueva propuesta de diseño considera estos elementos, propone de igual manera integrar la perspectiva interna de la experiencia que significa hacer uso de un producto (Buchanan, 2001), siempre buscando salvaguardar la dignidad humana a través del diseño centrado en el usuario (DCU).

El DCU es una metodología que sitúa al usuario en el centro de todo el proceso de diseño, garantizando así el éxito del producto (Casado *et al.*, 2011). El objetivo de la aplicación de esta filosofía es la creación de productos que los usuarios encuentren útiles y usables. Logrando así, satisfacer en su totalidad sus necesidades teniendo en cuenta sus características.

Tecnologías para la solución

Recuperando lo dicho respecto a que la función de un dispositivo es de las principales necesidades a resolver dentro del diseño de éste, existe una amplia variedad de tecnologías con una posible aplicación al diseño del producto dependiendo del problema particular a resolver.

En el caso específico de esta investigación, la tecnología a aplicar está dirigida a los sistemas de cuantificación de líquido con el objetivo de lograr una detección temprana de HO, complementando y reforzando el trabajo del cuerpo médico y de enfermería al realizar un monitoreo constante y brindando un conteo exacto del volumen sanguíneo perdido.

Partiendo de lo obtenido de la investigación, **no existe un dispositivo del área de ginecobstetricia que tenga por objetivo monitorear o cuantificar la pérdida de sangre**, sin embargo, existen productos que tienen objetivos similares con una aplicación factible al caso de estudio debido al sistema o proceso que implementan. Razón por la cual se toman como relevantes los métodos de cuantificación de líquido.

Existen diferentes áreas, más allá de la médica, en las cuales es necesario realizar un cálculo de líquido como la hidrología, disciplina que permite conocer las condiciones en las que se encuentra el recurso hídrico tanto superficial como subterráneo (INEGI, 2020). De ésta, surge la hidrometría, que se encarga de medir, registrar y calcular los volúmenes de agua que circulan a través de un caudal a través de métodos de aforo (Alvarado, E., 2017), como:

- Método volumétrico
- Medidor Parshall
- Método de vertederos y orificios
- Método de sección-velocidad, los cuales a su vez implementan:
 - Flotador
 - Molinete

Utilizados en los sistemas de refrigeración (refrigeración comercial y aires acondicionados), los indicadores de líquido y humedad tienen como objetivo indicar si existe un exceso de humedad en el refrigerante lo que puede llegar a ser nocivo para el funcionamiento del aparato. Éste funciona por medio de un sensor de humedad, el cual es generalmente un papel filtro impregnado con una sal anhídrica de cobalto, que tiene la capacidad de cambiar de color en presencia o ausencia de pequeñas cantidades de humedad (Fernández, S. 2017).

Otro sistema de medición de líquido es mediante el peso, el cual se implementa principalmente al momento de envasar líquidos (Schmidt, S. 2018), ya que, debido a las normas de cada país, las fábricas deben respetar el volumen establecido en la etiqueta con un mínimo parámetro de error. Para asegurarse de esto, mientras el líquido es vaciado en la botella, un sensor pesa el total de líquido y envía una señal para detener el flujo una vez alcanzado el volumen requerido.

Otra modalidad de cuantificación de líquido mediante el uso de sensores de humedad es aquellos implementados en agricultura, en donde éstos determinan y monitorean el contenido de agua que tiene cierto terreno. Esto tiene como objetivo optimizar la producción, conservar agua, reducir los impactos ambientales, así como ahorrar dinero (Enciso, J.M., *et al.* 2007).

Sensor de humedad

Continuando con lo anterior, el método de cuantificación de líquido por medio de la variable de la humedad en la industria de la agricultura es posible gracias a los sensores de humedad del suelo.

Los sensores de humedad del suelo consisten en celdas con propiedades de absorción mejoradas, dopadas con una pequeña cantidad de cloruro de sodio (NaCl). Estas celdas se procesan con partículas de Zink y Carbono. Cuando el sensor se moja, se convierte en una celda de voltaje, produciendo aproximadamente 0.8-1 voltios con una corriente máxima proporcional al área del sensor (Sidén, et al. 2014).

Los sensores de uso industrial se encuentran calibrados para diferentes tipos de suelos, así como programados para, con base a los datos obtenidos sobre la humedad del suelo, realizar diferentes acciones que van desde emitir la información hasta activar el riego.

La aplicación de esta tecnología al desarrollo del dispositivo en cuestión supone una adecuación de ésta mediante pruebas de funcionalidad ya que significa sustituir el agua de riego por sangre e identificar el comportamiento del sensor ante este cambio. Además, es necesario generar una caracterización de éste mediante la creación de un programa que genere equivalencias entre la humedad de la toalla de maternidad y la cantidad de sangre perdida.

Justificación

La presente investigación, así como el desarrollo del dispositivo en cuestión parte de reconocer la relevancia que ha cobrado la hemorragia obstétrica, en el mundo y en México debido al crecimiento que ha tenido en los últimos años, pues en el 2019 se colocó como la primera causa de muerte materna, desplazando a los problemas hipertensivos a un segundo lugar (Dirección General Epidemiológica, 2019).

Existe una necesidad latente por parte de sociedad y médicos especialistas, de reconocer la importancia de este padecimiento, y enfatizar en que la mayoría de los casos de muerte materna por HO pueden evitarse al contar con las herramientas necesarias, lo cual puede tener diferentes significados dependiendo de la zona donde se busca confrontar el problema.

En el caso específico de México, la mayoría de los problemas están relacionados con el tipo de hospital en el que se trata la hemorragia, como ejemplo, en Querétaro el 100% de las muertes por HO ocurrieron en hospital público (INEGI, 2015). La preparación y experiencia del especialista tratante juegan, de igual forma, un papel importante en la detección y tratamiento de las HO, ya que depende de estos factores cuán rápido se contenga la hemorragia y el éxito de ésta.

Surge entonces la necesidad de plantear estrategias que desde el enfoque del diseño industrial se pueden adoptar con la finalidad de reducir la brecha entre el tratamiento idóneo de una HO y el que se da en hospitales del sector público en México, respondiendo a los requerimientos existentes.

La relevancia de implementar disciplinas como el diseño industrial en el desarrollo de dispositivos médicos, como ya se abordó previamente, es que, si bien éste no tiene una formación médica, cuenta con herramientas de investigación y desarrollo de producto que permiten descomponer una problemática en sus partes esenciales para identificar la necesidad real que requiere solucionarse, creando así un producto que tiene en consideración la relación con el usuario (directo e indirecto) y con su entorno, brindando una solución apropiada y novedosa al problema en cuestión.

Complementando, la aplicación de esta disciplina a la investigación en cuestión permite, mediante la implementación de factores objetuales tales como el color, la forma, tamaño, textura, etc., mejorar las condiciones bajo las cuales se encuentra la paciente, eliminando elementos de incomodidad y malestar, atendiendo ésto a través de elementos de usabilidad que consideran a todos los involucrados en el sistema (pacientes y personal de salud).

Lo anterior sirve como base para el desarrollo del dispositivo en cuestión, no sólo funcional si no estético, éste último es de vital importancia ya que la comunicación del objeto impacta en cómo es que éste es percibido, así como en el estado emocional de los integrantes y por consecuencia en la funcionalidad éste.

En adición a esto, desarrollar un producto enfocado a la detección oportuna y precisa de hemorragias obstétricas permite optimizar el proceso aumentando las posibilidades de éxito en el tratamiento de éstas.

Hipótesis y objetivos

Hipótesis

El diseño de un monitor de pérdida de volumen sanguíneo cuyo funcionamiento sea a partir de un sistema basado en sensores de humedad permitirá identificar y comunicar posibles casos de Hemorragia Obstétrica.

Objetivo general

Diseñar un monitor de pérdida de volumen sanguíneo para la detección de posibles Hemorragias Obstétricas a través de criterios de usabilidad y ergonomía.

Objetivos específicos

- Recopilar y analizar información referente a las complicaciones en el embarazo y hemorragias obstétricas a fin de identificar un problema a resolver.
- Generar un perfil de usuario, considerando las condiciones y necesidades de éste a fin de desarrollar un dispositivo pertinente que logre satisfacer los requerimientos no sólo funcionales si no ergonómicos del mismo.
- Elaborar conceptos de soluciones pertinentes al usuario, contexto y problema a resolver a partir de principios de diseño y referencias.
- Implementar herramientas de proyección como bocetos, modelos digitales (CAD) y modelos para una mejor exploración, desarrollo y comunicación del producto a diseñar.
- Evaluar las propuestas considerando elementos como la deseabilidad, asequibilidad y factibilidad, así como la pertinencia previamente mencionada.
- Obtener resultados a través de un prototipo funcional mediante su evaluación en un ambiente simulado.

Metodología

En el presente apartado se describe la metodología a seguir en el proceso de diseño del dispositivo médico en cuestión.

Para esta investigación se plantea el uso de *Biodesign Innovation Process*, metodología desarrollada por *Stanford Biodesign* en el año 2000, la cual parte de la premisa de que la innovación es un proceso que se aprende, desarrolla y practica, y a partir de ello, se perfecciona.

El proceso (Stanford Biodesign, 2000) se divide en tres fases elementales (Ilustración 8) las cuales se subdividen en etapas. A continuación, se describen cada una de ellas:

- Identificar

Esta primera fase es el eje principal bajo el cual se rige el desarrollo del proyecto pues a través de ésta se identifica la necesidad médica no resuelta o atendida. Esto mediante la observación de todo el ciclo de cuidados desde diagnóstico y tratamiento hasta la recuperación, se analiza lo que se hace y cómo es que esto afecta a todos los involucrados en el sistema.

- Inventar

En ésta se plantea el comienzo de la invención del producto, mediante el uso de técnicas que fomenten la creatividad como la lluvia de ideas, las cuales son analizadas entre ellas y contra la necesidad a resolver. Esta etapa se apoya en la investigación

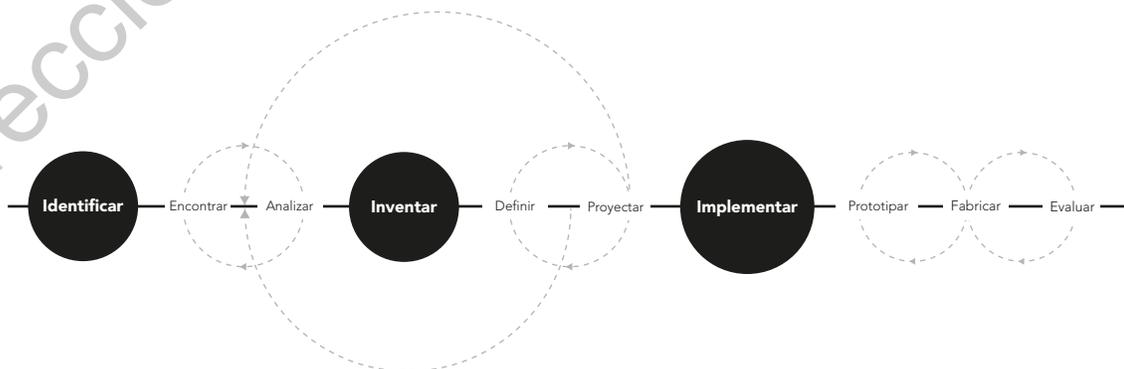


Ilustración 8. *Biodesign Innovation Process*. Elaboración propia con base en *Biodesign Standfórd, 2000*.

de aquellos productos que ya existen o buscan solucionar un problema similar, con la intención de identificar criterios de diseño para el producto. Al final, se llega a un concepto guía que, bien desarrollado tiene la capacidad de solucionar el problema seleccionado.

- Implementar

En esta fase se busca un desarrollo de prototipo en el cual se pruebe la tecnología a implementar en el producto real, así como la evaluación de éste con apoyo de expertos en el área de diseño, así como de especialistas del área de la salud y usuarios. *Stanford Biodesign* enfoca esta etapa a revisión de normas y estatutos que el dispositivo debe seguir en aras de una posible protección intelectual.

Resultados

Con base a la metodología planteada anteriormente, se presentan lo resultado a partir de la aplicación de esta a la investigación en cuestión siguiendo cada una de las etapas en la que se divide.

Identificar

Partiendo de la definición de la problemática, siendo esta las hemorragias obstétricas, se procedió a generar un banco de información referente a este padecimiento. Para lo anterior se realizó una investigación teórica respecto al fenómeno con el fin de comprender a profundidad las dimensiones de éste, además de la realización de entrevistas a médicos especialistas y pacientes buscando obtener su perspectiva sobre las HO y comprender la dinámica que existe alrededor de éstas desde los diferentes puntos de vista de los actores.

Posterior a esto, se desarrolló un mapa conceptual (Ilustración 9) con la finalidad de documentar el conocimiento obtenido respecto a las HO y facilitar la comprensión y análisis de las relaciones entre los problemas que integran el fenómeno de estudio evaluando su relevancia en cuanto al impacto en la salud, la cantidad de pacientes beneficiadas y considerando factores necesarios para crear una línea de innovación, factibilidad, accesibilidad y deseabilidad.

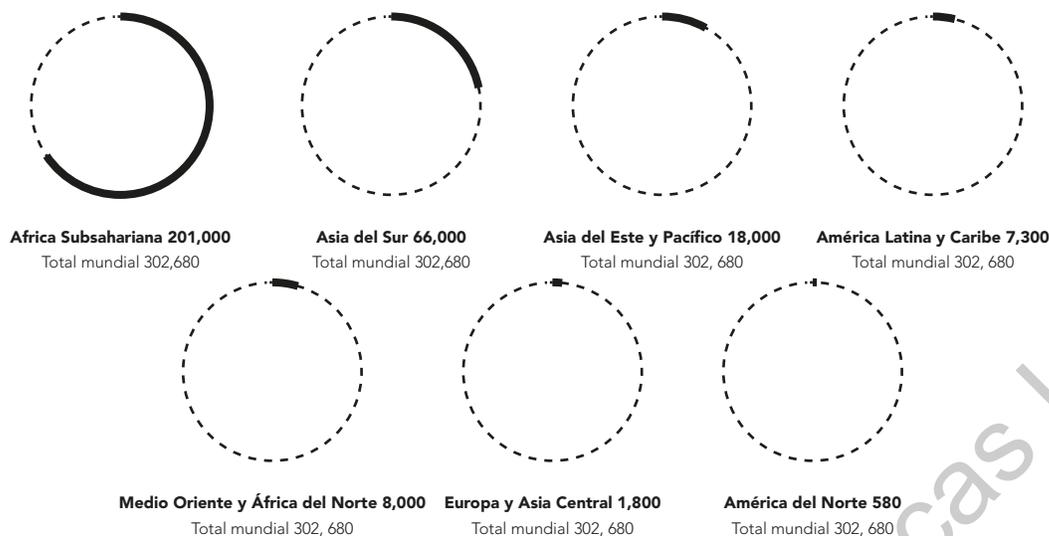


Ilustración 10. Número de muertes maternas por región. Elaboración propia con base en Roser, M., et al. 2015.

de ocurrencias en hospitales públicos. Simplemente en el Estado de Querétaro, durante el 2017 el 100% de las muertes por este padecimiento ocurrieron en instituciones de este carácter.

Se asume que la razón de esta situación es que existe una escasez de recursos (humanos, materiales y económicos) en este tipo de hospitales que derivan en el incumplimiento de ciertos protocolos o prácticas.

Atención a la paciente

Durante la etapa de obtención de información, se acudió al Hospital de Especialidades del Centro Médico La Raza al área de Ginecología con el objetivo de observar las condiciones bajo las cuales se encuentra la paciente, así como las interacciones que existen entre el cuerpo médico tratante y ésta.

Como resultado de la situación que existe en instituciones de carácter público, a través de la observación se pudo percibir que las pacientes que se encontraban en piso, así como en pre y post operatorio, recibían un trato deficiente en el que se veían ignoradas por el cuerpo médico. Además de que los espacios en los que se encontraban no respondían al estado emocional de la paciente, ignorando la necesidad de un ambiente relajado, amable y empático.

De ser necesario brindar información, el trato del cuerpo de enfermería, así como de los especialistas era respetuoso pero estos intercambios eran puntuales sin ofrecer más datos o apoyo.

Si bien es comprensible que la naturaleza de estas situaciones es resultado de las condiciones de un hospital público y que, en su mayoría esto no significa negligencia médica. Es importante reconocer que la paciente se encuentra vulnerable tanto física como emocionalmente y que el trato que reciben puede tener consecuencias importantes para todos los involucrados en el sistema.

Priorización de síntomas

El 75% - 90% de los casos de hemorragia obstétrica ocurren por atonía uterina la cual tiene lugar durante el posparto (Moldenhauer, J. 2020), según la NOM-007-SSA2-2016, durante la primera hora del puerperio la paciente debe ser tener revisiones de su estado cada 15 minutos tomando en cuenta elementos como la frecuencia cardíaca, respiratoria, presión arterial, temperatura, llenado capilar, hemorragia transvaginal, tono y altura del útero y el reinicio de la micción espontánea. Posterior a esto, los chequeos se ven espaciados hasta el alta de la paciente.

Sin embargo, y en consecuencia a las condiciones de los hospitales públicos en donde los recursos se ven rebasados por la demanda (Moreno, M., Martínez, R., 2015), esta norma no se sigue con precisión. De acuerdo con lo observado y obtenido a partir de acercamientos a expertos, la Dra. Daniela Lacarriere Mejía, especialista en gineco-obstetricia y jefa de la Unidad Tocoquirúrgica del Hospital de Gineco-Obstetricia con Medicina Familiar de la Delegación Regional Estado de México Oriente No. 60, comentó que las revisiones realizadas generalmente por el cuerpo de enfermería no son ejecutadas cada 15 minutos si no con un mayor tiempo de separación entre cada una.

Además, debido a la cantidad de pacientes a las que se les necesita dar seguimiento y la poca cantidad de especialistas que hay, existe una priorización de síntomas en la cual, de los elementos a vigilar establecidos por la norma, sólo se vigilan aquellos que se pueden obtener rápidamente como la frecuencia cardíaca, respiratoria, temperatura y presión arterial obviando por completo lo relacionado al tono y altura del útero.

Esta situación ocurre puesto que realizar una revisión minuciosa requiere de más tiempo a implementar en cada paciente y además incomodarla pues es necesario retirar sábanas y ropa que pueda traer con el objetivo de tener una mejor visualización y realizar un tacto. Cabe resaltar que las condiciones físicas en las cuales se encuentra la paciente son delicadas pues su cuerpo acaba de pasar por un sobreesfuerzo y los tejidos del cérvix se encuentran delicados por lo que estas prácticas pueden no sólo molestarla si no incluso llegar a producir dolor.

Estas circunstancias generan que el posible diagnóstico de una hemorragia obstétrica se realice de manera tardía y complique las condiciones bajo las cuales deben trabajar los médicos para contener la hemorragia. Ya que si bien, ésta se puede ver reflejada en la frecuencia respiratoria, cardíaca o en la diaforesis de la paciente, existen otras razones por las cuales estos signos pueden verse afectados además de este padecimiento.

Métodos existentes

Retomando lo discutido en el apartado de antecedentes, existe únicamente un método de diagnóstico para una hemorragia obstétrica, el cual consiste en un afiche con fotografías que ejemplifican cómo se ve cierta cantidad de sangre perdida en diferentes condiciones. Sin embargo, es importante resaltar que este método es enteramente subjetivo pues depende de la experiencia de quien trata la HO, además de estar sujeto a circunstancias que afecten la visualización total del volumen sanguíneo perdido por lo que la cuantificación de éste es poco confiable.

Esta información aunada a la investigación realizada respecto a las tecnologías de cuantificación de líquido, específicamente los sensores de humedad plantean un panorama de posibilidades de aplicación para el desarrollo del dispositivo en el que convergen los cuatro ejes del diseño.

Inventar

Tras realizar un análisis de la problemática, los actores del sistema y su rol en éste, así como elementos que pretenden dar una solución al padecimiento procedemos a enfocar esta información al desarrollo de un dispositivo mediante la implementación de principios de diseño que permitan responder a la necesidad desde diferentes aristas.

Definición

El proceso de desarrollo del dispositivo en cuestión se realizó en dos etapas, la primera: como resultado de la asignatura Diseño V, orientada al diseño de dispositivos médicos. La segunda, haciendo un análisis del resultado obtenido en la etapa anterior buscando obtener un resultados confiables y acordes a los requerimientos del problema mediante iteraciones en este punto de la metodología.

Primera etapa

Como resultado del análisis previo surge, en un primer acercamiento, la idea de desarrollar un dispositivo que cuantifique la pérdida de sangre y permita al médico visualizar la condición de la paciente de manera práctica y rápida.

Para esto, se definió la función crítica que el objeto a diseñar debe de cumplir con el objetivo de mantenerse en la misma línea de solución sin perder de vista el problema a resolver. En el caso específico de la presente investigación, la función crítica consiste en cuantificar el flujo sanguíneo, además de emitir una señal visual que cambie según la cantidad de volumen perdido.

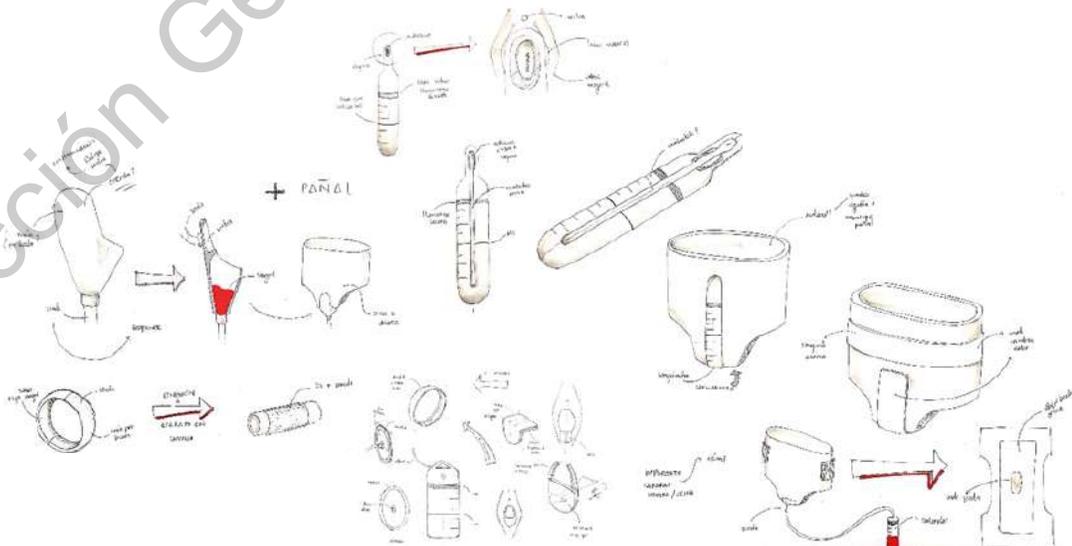


Ilustración 11. Bocetaje: Primera etapa. Elaboración propia.

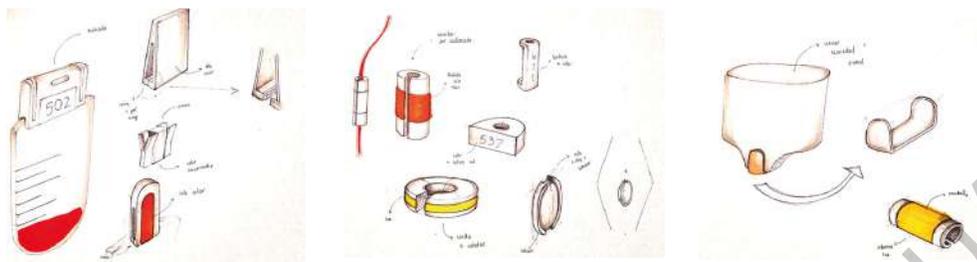


Ilustración 12. Bocetaje: Segunda etapa. Elaboración propia.

Una vez identificados los parámetros de función, se procedió a la etapa de conceptualización y bocetaje de dispositivos que cumplan con las especificaciones. Dicho bocetaje se realizó en etapas con diferentes objetivos.

En la primera etapa, el objetivo principal fue identificar las posibles soluciones del problema mediante la implementación de diferentes métodos a manera de lluvia de ideas, los bocetos de esta etapa se presentan a continuación (Ilustración 11).

Como segunda etapa, una vez habiendo definido e investigado a grandes rasgos los métodos de funcionamiento, se presentaron únicamente tres ideas de solución para posteriormente, elegir una (Ilustración 12). En el caso específico del proyecto, las opciones consistieron en: opción a, cuantificación por peso, opción b, cuantificación por flujo y opción c, cuantificación por humedad.

Posteriormente se desarrollaron modelos CAD (*Computer Assisted Design*) de las opciones presentadas previamente a fin de formalizar la idea. Se realizaron láminas de presentación para cada una de éstas a detalle con el fin seleccionar una.

A continuación, se muestran las propuestas realizadas del sensor de humedad (Ilustración 13), báscula (método de peso) (Ilustración 14) y copa externa (método de recolección) (Ilustración 15).

Tras un análisis de las propuestas presentadas, basado en aspectos técnicos como la viabilidad de aplicación de dicha tecnología al

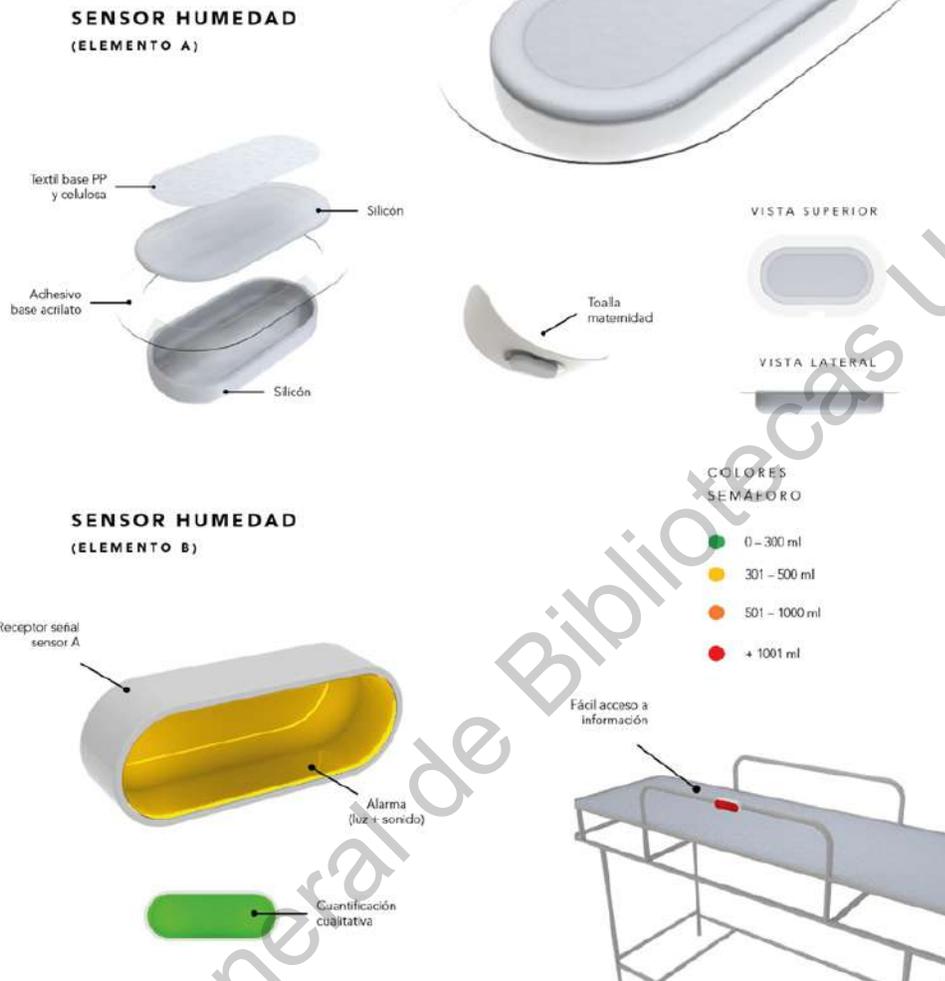


Ilustración 13. Lámina de presentación: Sensor de humedad. Elaboración propia.

problema, se decidió trabajar sobre el sensor de humedad, esto debido a que éste cuenta con ventajas en cuanto al precio, la cantidad de partes, adaptabilidad, factores ergonómicos y el sentido de alarma. Además de que la retroalimentación, al ser cualitativa disminuye el factor de error humano y facilita la comprensión de la información.

Tras decidir el método de cuantificación, así como haber realizado una exploración estética, se formalizaron elementos objetuales del producto, funcionamiento, etc. A fin de lograr esto, se elaboraron modelos de comprobación con la intención de evaluar aspectos como las medidas de los dispositivos teniendo en consideración factores ergonómicos (Ilustración 16).

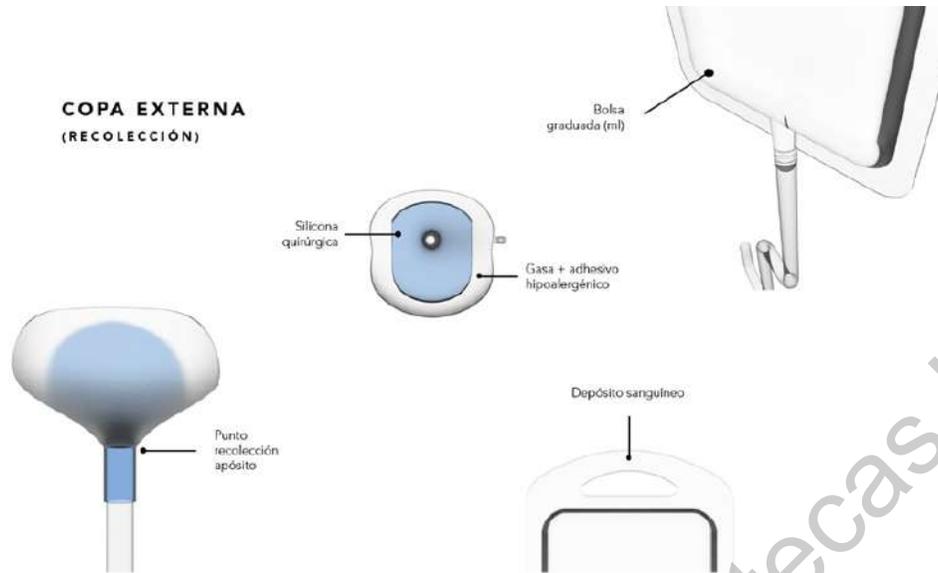


Ilustración 14. Lámina de presentación: Recolección. Elaboración propia.

Para el desarrollo del sensor, al no existir medidas antropométricas de las partes del cuerpo requeridas y a fin de adecuar éstas a su elemento de aplicación, se realizó un muestreo de las dimensiones de ropa interior femenina, toallas sanitarias y de maternidad. En adición a esto, se tomó en consideración las medidas de los componentes electrónicos previamente seleccionados, así como el acomodo óptimo dentro del dispositivo.

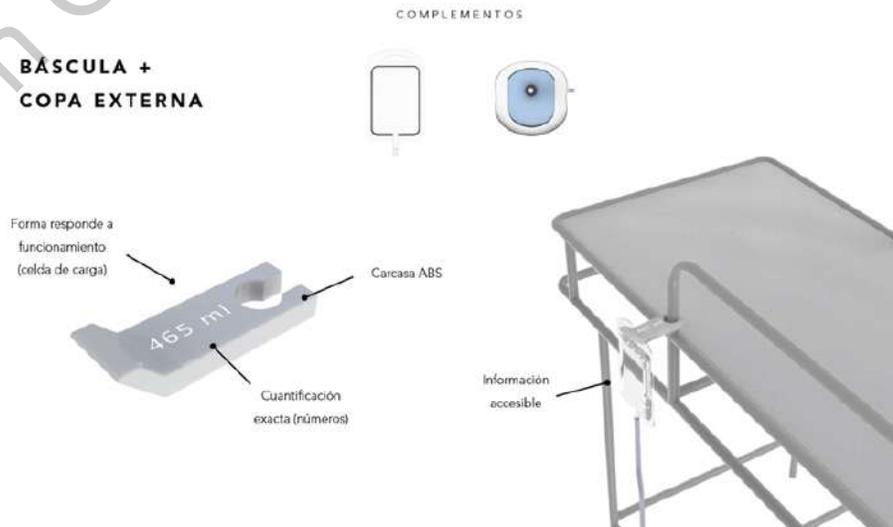


Ilustración 15. Lámina de presentación: Peso. Elaboración propia.

Modelos de comprobación

Monitor

Sensor

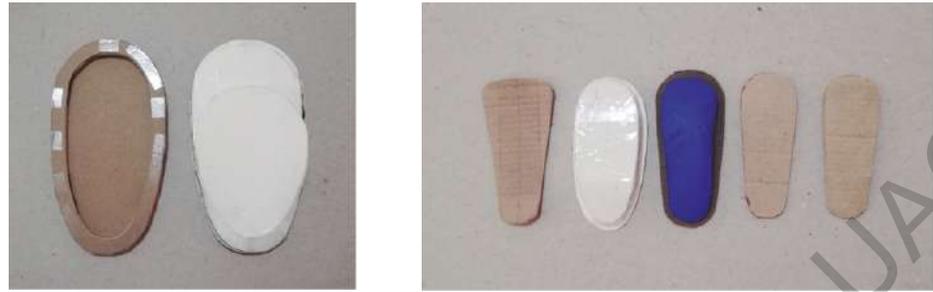


Ilustración 16. Modelos de comprobación. Elaboración propia.

Como parte del desarrollo del producto, se seleccionó una sensación a comunicar, en este caso fue la calma, en aras de mejorar el contexto inmediato en el que se encuentra la paciente buscando eliminar elementos agresivos que pudieran impactar en el estado emocional de ésta. Partiendo de esta decisión, se realizó un *moodboard* (Ilustración 17) en donde se representaron gráficamente aspectos que componen la estética del producto basándonos en la teoría del color, forma y textura. A partir de lo reflejado en este instrumento se desarrollaron posibles soluciones, las cuales se sometieron a la comprobación rápida mediante el instrumento de entrevistas a mujeres y personal médico,

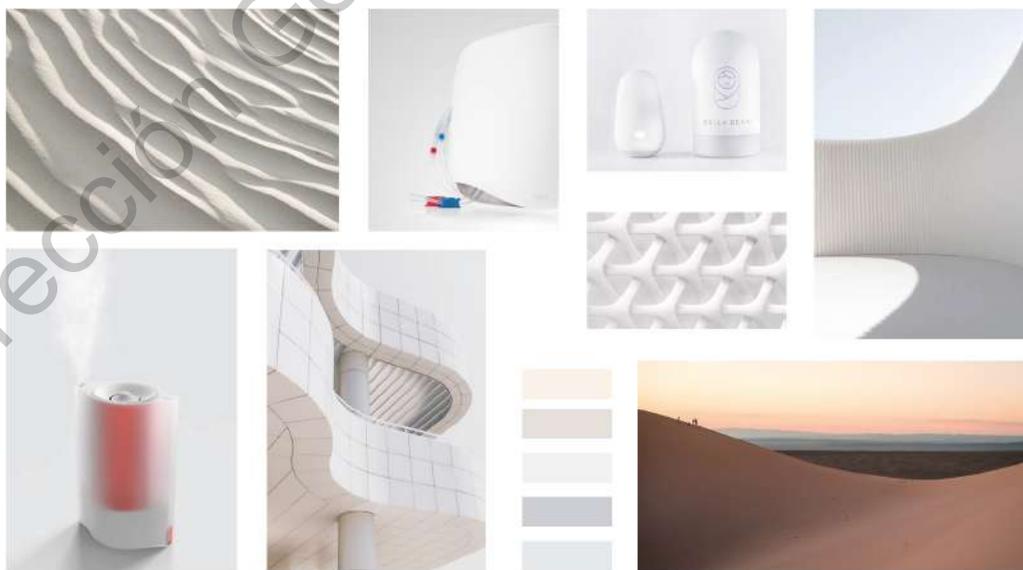


Ilustración 17. Moodboard: Comunicación. Elaboración propia.

de lo anterior se definió una forma que integrara elementos orgánicos (curvas, redondeos y formas circulares) , pues esto, según la teoría y opinión de los entrevistados, es más amable al no generar sensaciones negativas.

En cuanto al color, se consideró el blanco debido a la tendencia que existe en el desarrollo de dispositivos médicos además de ser un color que refleja neutralidad y paz, al hablar con un especialista, éste resaltó la importancia de un color claro que permita un contraste con la sangre para una fácil identificación del dispositivo. Partiendo de esto, y en consecuencia a las respuestas de las entrevistadas, se procedió a su implementación.

Una vez realizadas las pruebas necesarias y la verificación de elementos funcionales, estéticos y ergonómicos de ambos componentes de la solución se define la propuesta como un monitor obstétrico que comunique la existencia de una Hemorragia Obstétrica, así como la evolución de ésta mediante una retroalimentación cualitativa usando colores.

La integración de los elementos definidos en este punto de la metodología, dan como resultado un dispositivo de monitoreo obstétrico compuesto por un sensor de humedad y un monitor que expresa la condición física del paciente, y tiene como objetivo auxiliar



Ilustración 18. Render propuesta conceptual: Monitor obstétrico. Elaboración propia.

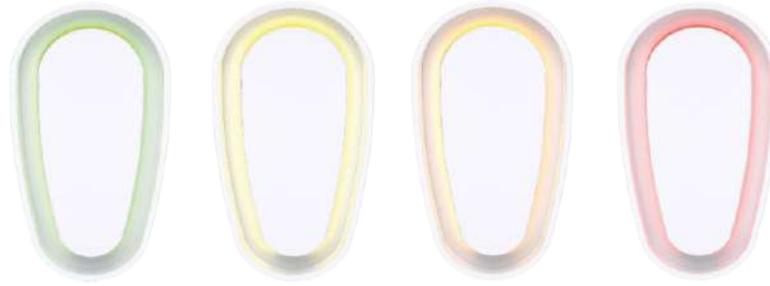


Ilustración 19. Renders propuesta conceptual: Colores semáforo (Elaboración propia, 2020)

en la detección precisa y oportuna de una Hemorragia Obstétrica, así como la evolución de ésta, alertando al cuerpo de salud tratante (Ilustración 18)

La integración de variables cualitativas, denominadas en este caso, “colores semáforo”, además de permitir a la paciente involucrarse en su cuidado mediante una retroalimentación en donde la información se encuentra simplificada al hacer alusión a un elemento cotidiano (Ilustración 19).

Análisis: Primera etapa

Implementar este dispositivo en el sistema de tratamiento de una hemorragia obstétrica supone una optimización en éste ya que se invierte menos tiempo en la revisión del paciente considerando la facilidad de lectura y comprensión de la información y que el dispositivo es de carácter externo por lo que no se requiere manipular a la paciente para verificar su estado. Lo anterior nos lleva a considerar que hay una mejora en la calidad de la atención brindada a la paciente al no requerir recursos humanos adicionales y dar un seguimiento constante de la pérdida de sangre.

Asimismo, en lo referente a los factores objetuales, a partir de los cuales se establece una interacción con los usuarios del producto, se decidieron a partir de una previa investigación teórica respecto a colores, texturas, formas, etc., así como una comprobación rápida mediante entrevistas a usuarios directos.

En etapas previas de la investigación se mencionó que el único método de diagnóstico en existencia consiste en un apoyo visual y, tras hacer un análisis de éste, se determinó que no es óptimo pues no existe una cuantificación precisa lo que genera un diagnóstico subjetivo. El dispositivo desarrollado al igual que el método previamente descrito, tiene un componente visual, pero a diferencia del anterior, el monitor obstétrico fundamenta la información compartida visualmente en una cuantificación realizada a través del sensor de humedad.

Dicho lo anterior, es necesario enfatizar que el resultado de esta práctica académica finalizó en una etapa conceptual por lo que la comprobación se mantiene inconclusa y abierta a un futuro desarrollo.

Segunda etapa

Partiendo de lo concluido en la etapa anterior, se decidió replantear la propuesta de solución a la que se llegó durante la primera iteración pues el resultado estético comprometía elementos funcionales que podían llegar a obstaculizar la función crítica del objeto a diseñar.

Se conservó la idea de desarrollar un monitor obstétrico compuesto por dos elementos (sensor y monitor) para pacientes posparto a fin de

Función

¿Qué debe de hacer?

Monitorear cantidad de sangre perdida y comunicar los datos

¿Cómo debe de hacerlo?

Mediante sensores y módulos de comunicación.

¿Dónde lo debe hacer?

En áreas de recuperación y piso (Hospitales)

¿Condiciones críticas?

Contacto con líquido (alto grado de humedad) y caídas de 1.5 mts aprox.

¿Cuándo lo debe hacer?

En la etapa posparto.

¿Con qué frecuencia?

Continuamente durante las primeras 2 hrs del posparto.

Ilustración 20. Requerimientos del objeto: Función. Elaboración propia.

Ergonomía

Usabilidad

Sensor

Ser discreto y permitir movimientos naturales.

Monitor

Contener signos y símbolos intuitivos que faciliten su uso.

Factor psicológico

Sensor

Responder a las necesidades emocionales de la paciente.

Monitor

Considerar necesidades emocionales de la paciente y del cuerpo médico.

Factor antropométrico

Sensor

Ajustarse a las medidas promedio de una mujer.

Monitor

Colocarse a una altura que convenga para su visualización.

Ilustración 21. Requerimientos del objeto: Ergonomía. Elaboración propia.

dar un seguimiento constante a la pérdida de sangre e identificar así la existencia y evolución de una hemorragia obstétrica.

A partir de aspectos fundamentales del diseño como lo son la función, ergonomía, estética y producción, se replantean cuestionamientos que guíen la concepción del producto hacia un desarrollo integral.

Una vez identificadas las necesidades del usuario, siendo éste las mujeres en estado posparto y el cuerpo médico tratante, y del problema en cuestión se determinó parámetros del funcionamiento del objeto

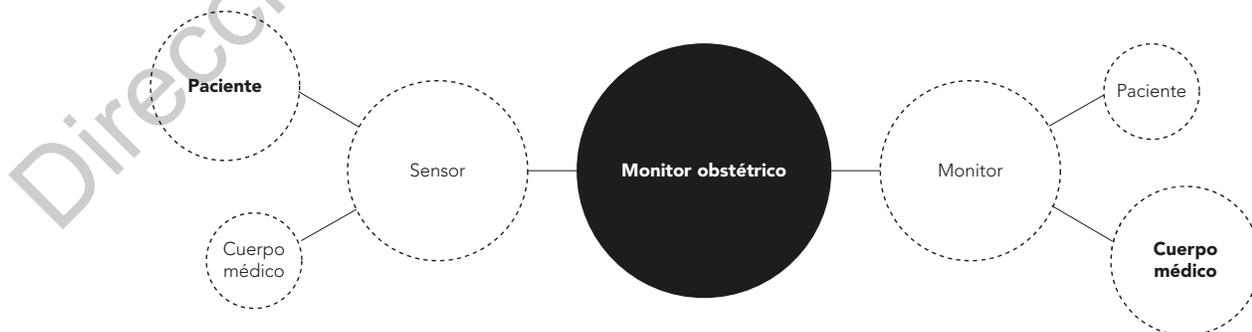


Ilustración 22. Diagrama usuario: Relevancia. Elaboración propia.

(Ilustración 20) de los cuales podemos resaltar la función crítica que consiste en monitorear la pérdida de sangre mediante su cuantificación implementando sensores que una vez recabada esta información pueda transmitirse a un monitor que comunique de forma clara y concisa la condición de la paciente.

Para un adecuado desempeño por parte del producto a diseñar es importante conocer las condiciones bajo las cuales éste llevará a cabo sus labores, recordando que su aplicación es durante la etapa posparto, las primeras dos horas posteriores al parto, en uso constante. Esto en un hospital en las áreas de recuperación y piso, considerando las posibles caídas que éste puede sufrir.

Para los requerimientos del objeto referentes a la ergonomía (Ilustración 21) se realizó una división entre aquellos propios del sensor y del monitor pues cada uno tiene una función y enfoque distinto dentro del sistema (Ilustración 22).

Mientras que el sensor, al estar supervisando el estado de la paciente debe considerar las condiciones físicas y el estado emocional de ésta, el monitor tiene la función de comunicar dicha información al cuerpo médico tratante por lo que su usuario principal es éste. De igual manera, los aspectos antropométricos que cada elemento debe considerar son diferentes debido su área de desempeño. Sin embargo, ambos comparten criterios de usabilidad y estética pues son parte de un mismo sistema.

Estética

¿Qué debe comunicar?

Dispositivo médico de monitoreo obstétrico que considera las condiciones físicas y emocionales de la paciente.

¿Qué debe satisfacer?

Requerimientos funcionales y ergonómicos sujetos al proceso de producción.

Producción

¿Con qué se va a producir?

Procesos de inyección en PE grado médico.

¿Cómo se va a producir?

Mediante la estandarización de medidas y procesos.

Ilustración 24. Requerimientos del objeto: Producción. Elaboración propia.

Función

Componentes electrónicos

Basados en sensores de humedad, módulos de radiofrecuencia, LEDs RGB y buzzer (alarma).

Componentes externos

Carcasa para el monitor y el sensor, elemento de adherencia (sensor) y elemento de sujeción (monitor)

Estética

Estilo

Simple y formal. Manteniendo un sentido de coherencia con el entorno médico.

Unidad

Formas, colores y texturas que identifiquen a ambos elementos propios de un mismo sistema.

Acabados

Colores neutros y texturas lisas.

Producción

Material

ABS grado médico.

Proceso

Deposición de material (Impresión 3D)

Estandarización

Medidas de carcasas y elementos de sujeción partiendo de datos antropométricos y proveedores.

Ergonomía

Seguridad

Elementos del sistema no invasivo y disc reto.

Percepción

Dispositivo médico de monitoreo obstétrico (materno).

Usuario

Sensor

Mujeres en etapa posparto de 15 a 55 años con un nivel socioeconómico bajo-medio (E, D, D+ y C).

Monitor

Cuerpo médico (especialistas y enfermería) de entre 25 - 60 años con nivel socioeconómico medio (C, C+).

Factores objetuales

Textura - - - - - • Lisas
Forma - - - - - • Geométricas simples
Color - - - - - • Neutros
Símbolos - - - - - • Aplicación de luz y texturas

Antropometría

Sensor

Base en toallas femeninas de uso cotidiano.

Monitor

Línea visual normal (0° - 10°) estatura promedio de 1.6 m

Ilustración 25. Especificaciones del objeto: Ejes de diseño. Elaboración propia.

Es importante tener en consideración al momento de desarrollar el aspecto estético del producto los requerimientos (Ilustración 23) para poder satisfacerlos de manera coherente con el entorno del dispositivo, el cual se encuentra en un ambiente médico cuyas necesidades estéticas se encuentran sujetas muchas veces a elementos de funcionalidad y ergonomía.

Retomando las premisas de los problemas identificados durante la etapa de análisis de la problemática respecto al contexto en el cual ocurren con mayor frecuencia las hemorragias obstétricas, siendo éste, hospitales de carácter público.

Se propone una producción a partir de procesos de inyección mediante la estandarización de elementos del sistema (Ilustración 24).

Tomando como base los requerimientos descritos previamente, se establecen especificaciones que el producto debe contener a fin de dar solución al problema identificado de manera integral abarcando las diferentes perspectivas de éste (Ilustración 25). Dichas especificaciones mostradas a continuación establecen parámetros a cumplir que guían el desarrollo del producto a través de los cuatro ejes del diseño anteriormente mencionados: función, ergonomía, estética y producción.

Concepto

Partiendo de los requerimientos y especificaciones planteados previamente, así como la información recabada acerca de la problemática en cuestión se procedió a realizar un análisis que diera como resultado un concepto de solución con el propósito de establecer un eje para el proceso de diseño de la solución conceptual sin perder de vista aspectos propios de aquello que se busca solucionar.

Como se mencionó, el dispositivo a diseñar consiste en un sistema de monitoreo que permita al cuerpo tratante conocer la existencia y evolución de una hemorragia obstétrica. Éste consiste en dos elementos que responden a necesidades distintas de acuerdo con su usuario principal, sin embargo, estos se complementan en cuestión de funcionalidad principalmente pero también en los ejes restantes, razón por la cual dicho concepto debe responder a esta relación entre los componentes del sistema del objeto y los usuarios.

Al tratarse de una problemática cuya solución depende enteramente del tiempo de reacción y la cantidad de sangre perdida, la funcionalidad del dispositivo se vuelve vital, pensando no sólo en la capacidad del sensor en adquirir la información sino también en la manera en que el monitor comunica ésta, pues debe ser de forma concisa y libre de un posible riesgo de confusión o error humano, eliminando aspectos que puedan dificultar su comprensión como la experiencia profesional de quien trate la hemorragia.

Confianza, es entonces lo que se busca generar a través del dispositivo. El cuerpo médico tiene la certeza de que la función del objeto brinda datos certeros que permiten monitorear a la paciente durante el periodo



Ilustración 26. Tablero de imágenes: factores objetuales. Elaboración propia.

de recuperación de ésta sin la necesidad de una revisión minuciosa que signifique la inversión de recursos que no se tienen como el tiempo o personal. Así mismo, la paciente tiene la seguridad de que en todo momento se está cuidando de ella, otorgándole una posición de valor dentro del sistema de cuidados.

Con la intención asegurar la comunicación del concepto a través de los factores objetuales del diseño (forma, color, textura y símbolos) se crearon tableros con imágenes a fin de generar referencias que ayuden a la configuración estética el dispositivo a diseñar (Ilustración 26).

Una vez identificado el estilo del producto que se busca, se realizaron bocetos a fin de explorar las posibles alternativas de diseño siguiendo el eje establecido tanto por el concepto como las características objetuales establecidas con anterioridad. El desarrollo de cada una de las partes del dispositivo (monitor y sensor) se llevó a cabo por separado, es decir, no de manera paralela y dándole prioridad al diseño del monitor.

Lo anterior, ya que su disposición dentro del entorno, así como su función dentro del sistema lo vuelven un elemento complejo cuya forma, tamaño e interfaz son aspectos primordiales en la funcionalidad de éste.

El planteamiento del cual se partió para la realización de los bocetos (Ilustración 27) es que el monitor se encuentre montado en el porta-sueros, el cual se ubica a un lado de la paciente debido a que el protocolo estipula que ésta debe recibir tratamiento intravenoso.

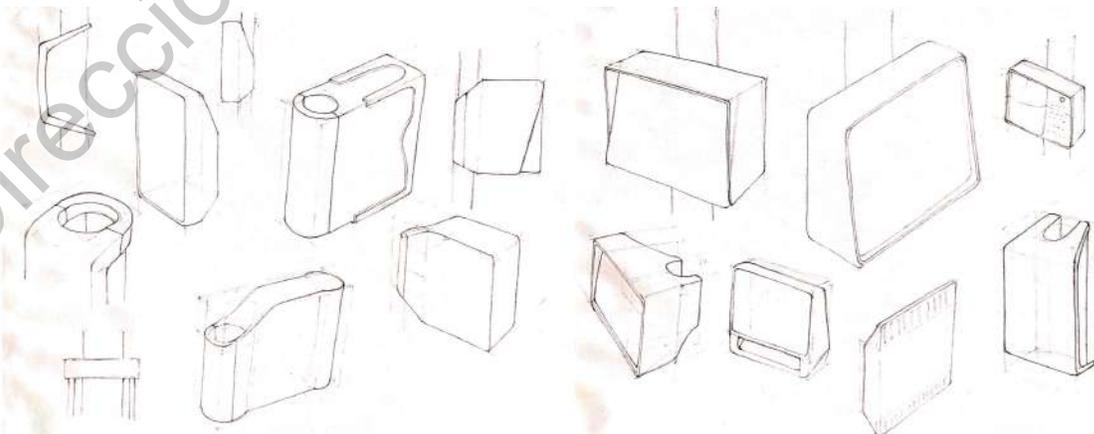


Ilustración 27. Boceto de exploración: Forma. Elaboración propia.



Ilustración 28. Modelo de exploración: forma. Elaboración propia.

Además, esta posición permite una fácil visualización para cualquier componente del sistema paciente-cuerpo médico por lo que no es necesario incomodar a ésta para verificar el estado de la hemorragia.

A manera de complemento de los bocetos realizados, se procedió a una exploración de forma (Ilustración 28) con la finalidad de permitir la conceptualización tridimensional del objeto facilitando así la

comprensión de cómo es la interacción de este con su entorno. Los modelos fueron realizados en espuma a escala jugando con los posibles ángulos de visualización.

En cuanto a la interfaz del monitor se propuso una solución que comunique la información mediante el uso de los colores verde,

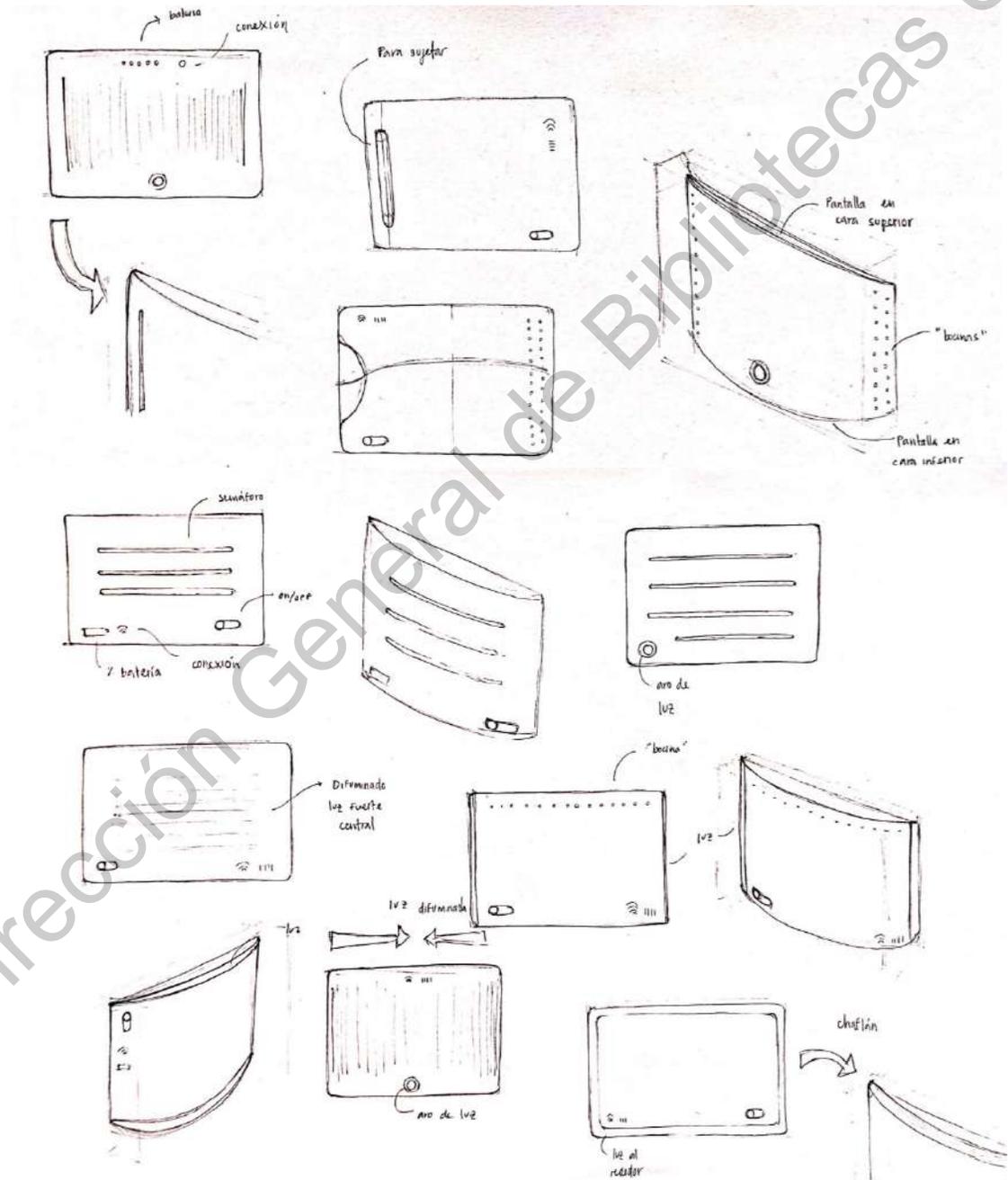


Ilustración 29. Boceto de exploración: interfaz. Elaboración propia.

amarillo y rojo, dependiendo de la gravedad de la hemorragia. Al llegar a la pérdida de 500 ml en adelante, la pantalla del monitor cambiará a rojo al mismo tiempo que se activará una alarma con el objetivo de llamar la atención del cuerpo médico para que se le del tratamiento correspondiente a la paciente.

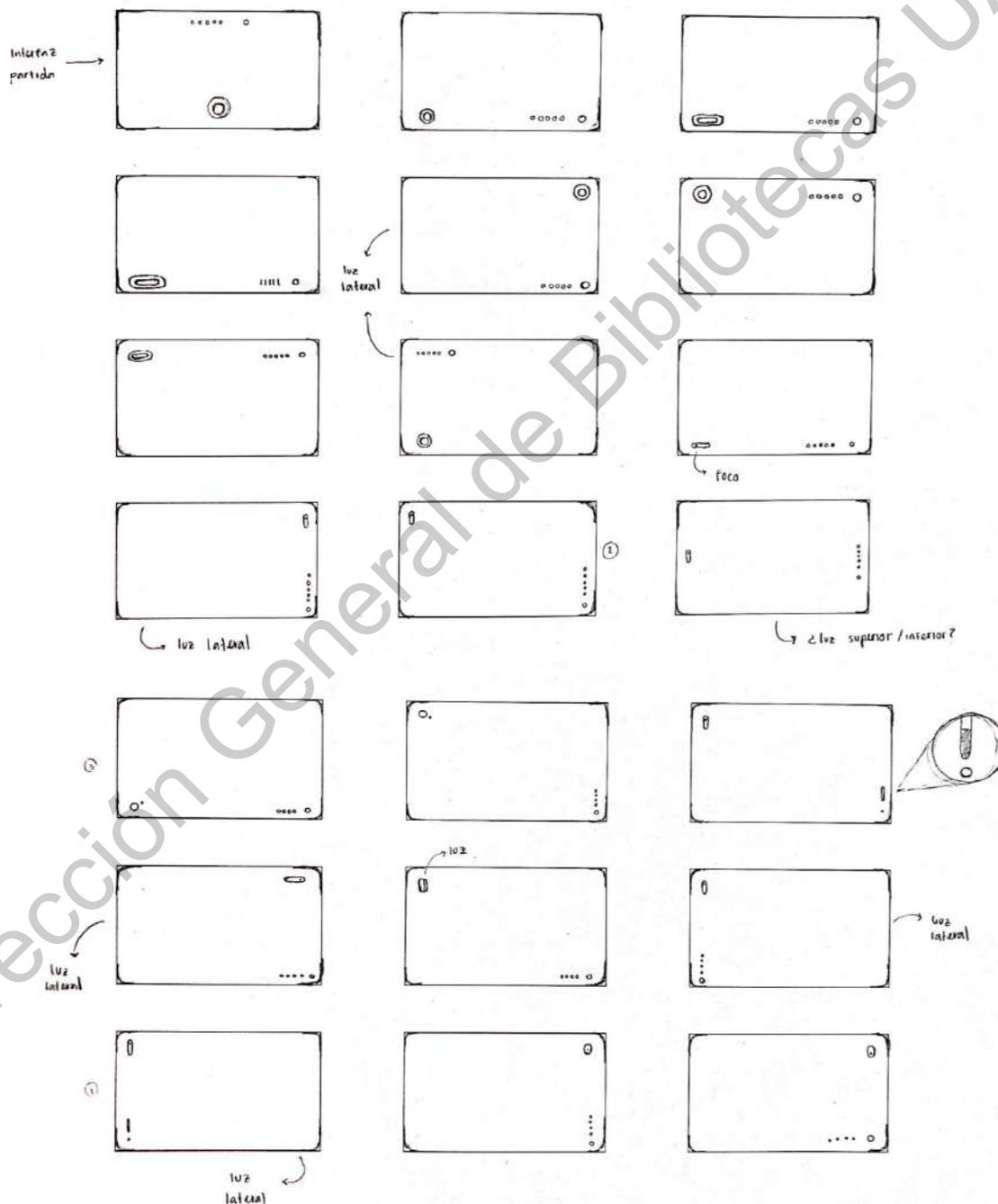


Ilustración 30. Boceto de exploración: Disposición de interfaz. Elaboración propia.

Esta decisión se tomó partiendo de que los seres humanos estamos condicionados a relacionar estos colores con temas de precaución o alerta debido a su aplicación en elementos como los semáforos, cuya presencia cotidiana vuelve casi universal la comprensión del significado del verde, amarillo y rojo.

La exploración respecto a la interfaz consistió en dos etapas, la primera en la disposición de los elementos (Ilustración 29), es decir botones, bocinas, pantalla, etc. Mientras que la segunda se enfocó en una exploración a detalle de este acomodo una vez decididos los aspectos generales (Ilustración 30).

Una vez decidida la disposición de los elementos dentro de la interfaz se realizaron bocetos para explorar la implementación de bumpers (Ilustración 31) en el dispositivo, esto como respuesta al requerimiento de función que establece la necesidad de tolerancia a caídas. Este ejercicio permite mantener el estilo del dispositivo a diseñar mientras que brinda protección a los componentes del objeto.

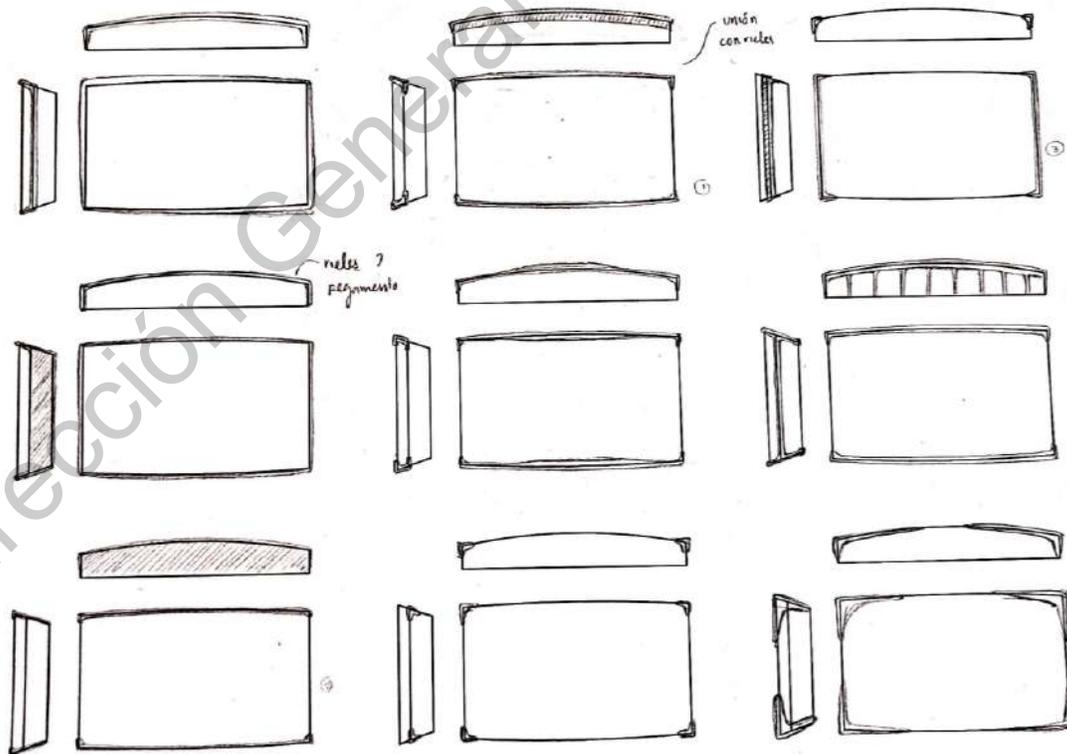


Ilustración 31. Boceto de exploración: Bumper. Elaboración propia.

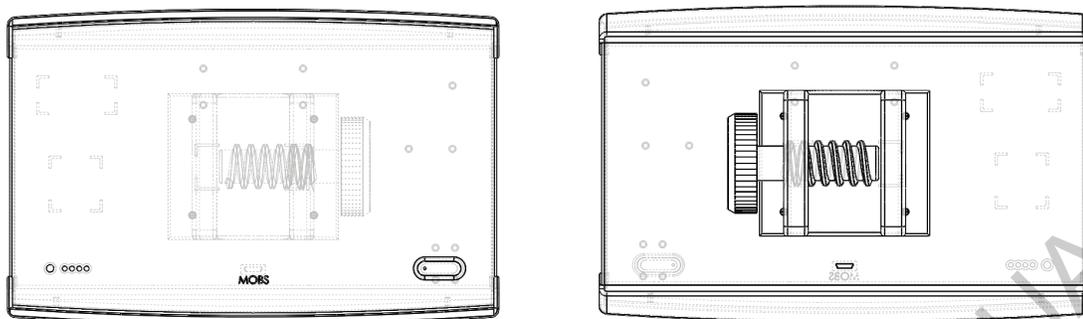


Ilustración 32. Modelo CAD: Monitor. Elaboración propia.

Habiendo definido todos los elementos del objeto, se procedió a realizar el modelado de éste en software CAD (Ilustración 32). En el desarrollo del modelo se integraron elementos de funcionalidad como grosores del material, el modo de ensamble entre piezas, etc., esto para la etapa siguiente de prototipado.

Al contar con el monitor desarrollado, se procedió a continuar el sensor. Para el diseño de este objeto es importante tomar en consideración que la ubicación de éste debe de ser en la toalla de maternidad para que pueda cumplir su función de cuantificación de sangre, sin embargo, teniendo en cuenta elementos de ergonomía, funcionales y las condiciones físicas y emocionales bajo las cuales se encuentra la paciente se decidió separar los componentes electrónicos del sensor de humedad.

Lo anterior en respuesta a dos factores: el primero, mantenerlos juntos significa un mayor volumen del dispositivo, situación que puede significar incomodidad y molestias para la paciente debido a su ubicación., y segundo, existe una mejor comunicación entre el sensor y el monitor ya que se eliminan obstáculos entre ellos que pueden dificultar la interacción entre los módulos de radiofrecuencia, método de comunicación a implementar.

Sin embargo, siendo conscientes que separar ambas partes significa la implementación de cables de conexión entre componentes lo que, a su vez, resta movilidad a la paciente y genera una posibilidad de que se desconecten los elementos. Se propone mantener un equilibrio en

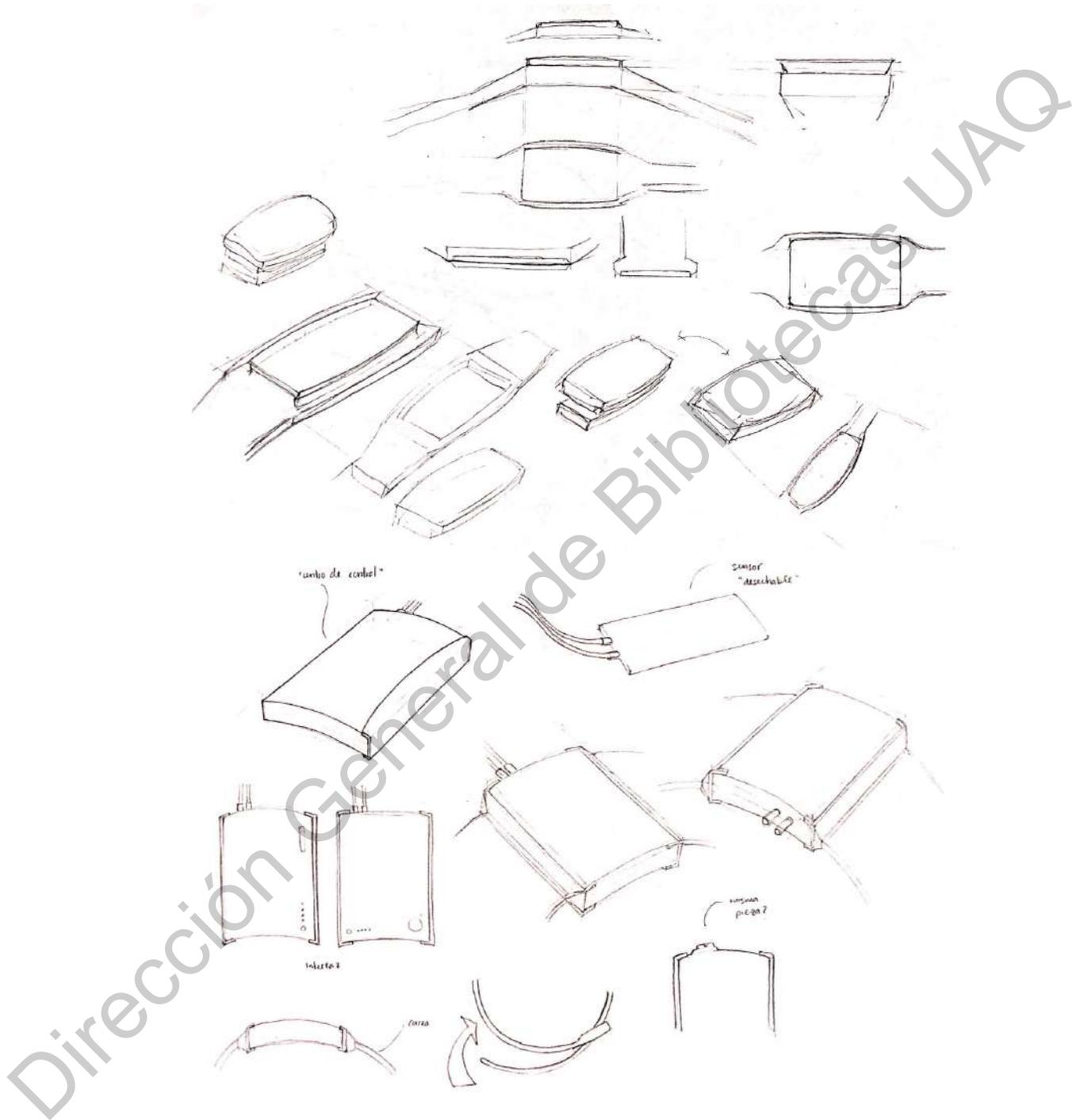


Ilustración 33. Bocetos de exploración: forma. Elaboración propia.



Ilustración 34. Modelo de exploración: forma. Elaboración propia.

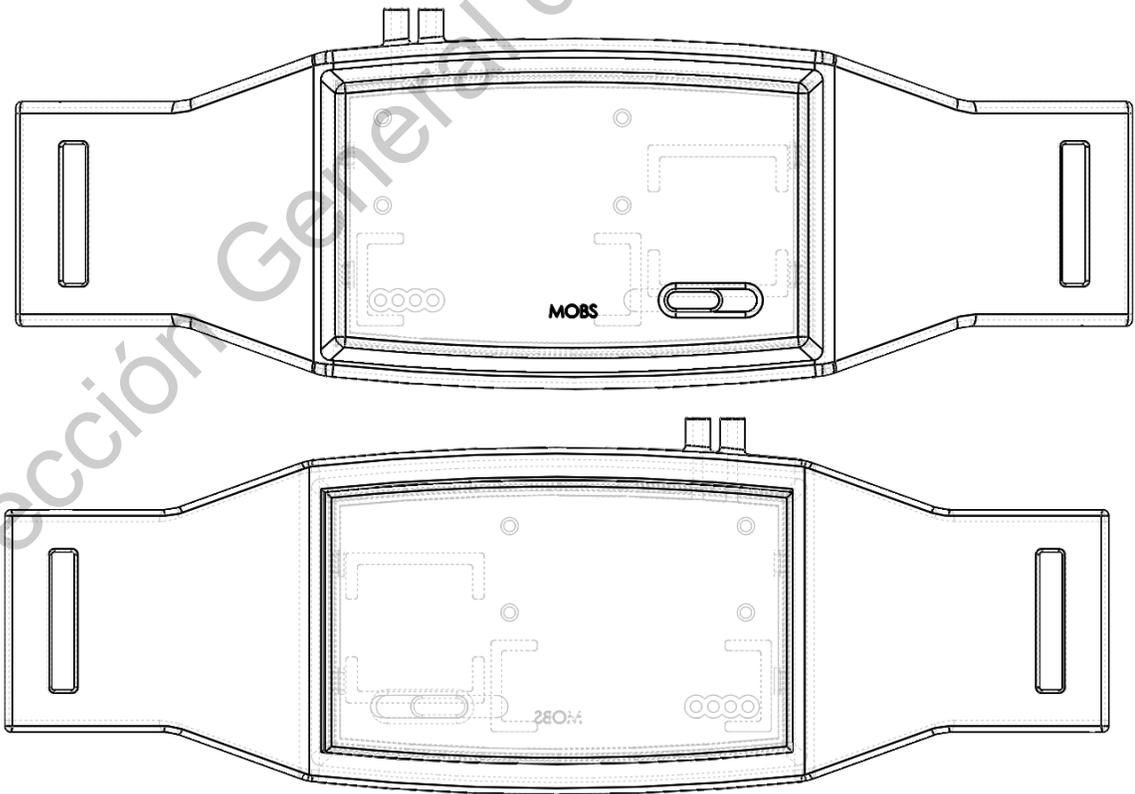


Ilustración 35. Modelo CAD: Sensor. Elaboración propia.

la distancia entre el sensor de humedad y el resto de los componentes electrónicos colocando el dispositivo en la pierna de la paciente.

Partiendo de este escenario se desarrollaron bocetos de exploración de forma (Ilustración 33) considerando los parámetros establecidos en el desarrollo del monitor, así como lo previamente discutido.

A fin de verificar la percepción del objeto de forma tridimensional y a escala real, se desarrollaron modelos por medio de los cuales se exploró la forma y su disposición (Ilustración 34).

Posterior a esto, tras evaluar las condiciones bajo las cuales iba a usarse mediante una simulación, se realizó un modelo CAD dentro del cual se consideraron elementos de producción para su prototipado (Ilustración 35).

Implementar

Esta etapa de la metodología se enfocó en la realización de los prototipos a través de tecnología de impresión tridimensional para después evaluar aspectos funcionales, estéticos y ergonómicos de los dispositivos dando pauta a la posible comprobación de la hipótesis planteada con anterioridad.

Prototipado

La etapa de prototipado se dividió en dos apartados, el funcional y el estético. En el primero se llevó a cabo la exploración e implementación de la tecnología aplicada a la problemática de la investigación, mientras que la finalidad del desarrollo del prototipo estético es realizar comprobaciones ergonómicas, de forma, percepción y comunicación, etc.

Prototipo funcional

Como se mencionó en párrafos anteriores, el desarrollo del prototipo funcional se llevó a cabo de manera separada al estético. Esto ya que los elementos tecnológicos con los cuales se trabajó para la comprobación funcional son de carácter didáctico y en una producción formal del dispositivo médico, los componentes a utilizar contarían con

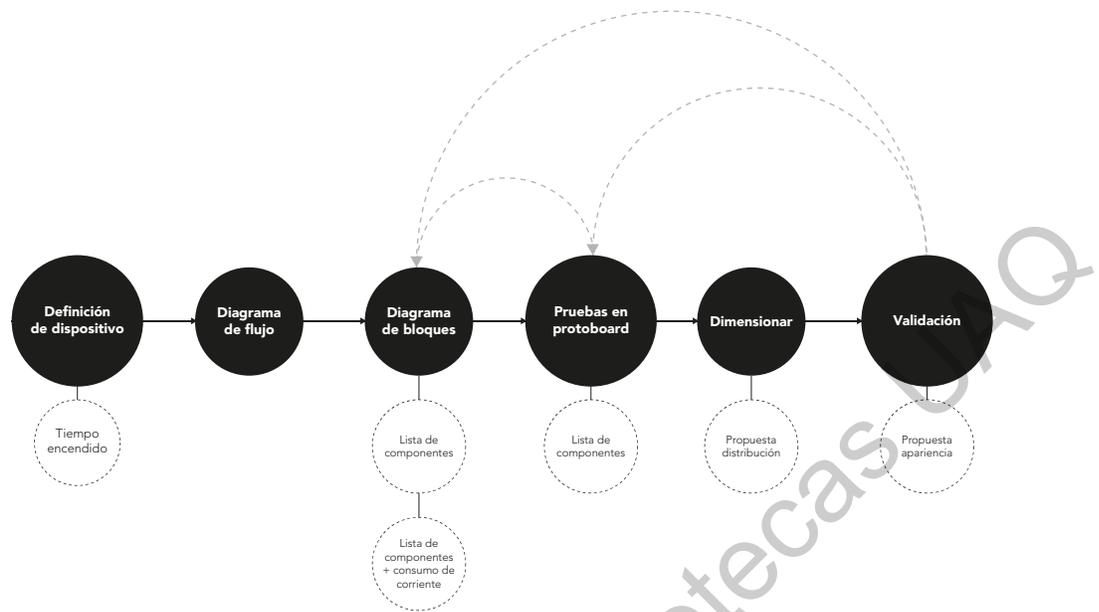


Ilustración 36.. Metodología de Diseño de dispositivos electrónicos. Elaboración propia con base en Correa, 2021.

características distintas, considerando este escenario fue el que se consideró para el proceso de diseño.

Al ser un dispositivo electrónico, la experimentación funcional se trabajó con una metodología de este rubro propuesta por el MDI. Froylán Correa Martínez, Coordinador del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica y docente de la asignatura Dispositivos electrónicos en la Licenciatura en Diseño Industrial de la Universidad Autónoma de Querétaro (Ilustración 36).

Esta metodología propone comenzar el proceso de diseño con la definición de la función del dispositivo, así como ciertas condiciones que puedan afectar esta misma como el tiempo de encendido. Para el caso particular de esta investigación, éste consiste en un sistema de monitoreo compuesto por un sensor, cuyo elemento principal es un sensor de humedad, y un monitor. Como se planteó con anterioridad, el tiempo de uso corresponde a la etapa de recuperación de la paciente posparto, es decir, dos horas de uso continuo.

Tras haber establecido en qué consiste el dispositivo, su función principal y el tiempo de trabajo bajo el cual estará sometido, se realizó un diagrama de flujo a fin de identificar las acciones a realizar por el sistema y la relación que hay entre cada una. Se generó un diagrama por

Componente	Veces de activación (por hora)	Duración del evento	Tiempo de uso por hora (s)	Tiempo de uso por hora (h)	Consumo instantáneo	Consumo por hora
Buzzer	1	1 hr	3600 s	1	32 mA	32 mA
Módulo RF	Constante	1 hr	3600 s	1	4 mA	4 mA
Arduino NANO	Constante	1 hr	3600 s	1	15 mA	15 mA
Botón	1	2 s	2 s	0.00055	4.8 mA	0.00264 mA
LED RGB	Constante	1 hr	3600 s	1	30 mA	30 mA
Reloj	Constante	1 hr	3600 s	1	1.5 mA	1.5 mA
					Total	82.50264 mA

Tabla 2. Componentes y consumo de corriente: Monitor. Elaboración propia.

cada dispositivo (Ilustraciones 37 y 38) relacionando la información de cada uno de estos entre sí.

Una vez identificadas las acciones a realizar por cada componente, así como la secuencia de éstas de acuerdo con la información recibida, es necesario conocer cuáles son los elementos que integran cada dispositivo, así como el consumo de cada uno pues es a partir de esto que se determina la batería a usar (Tablas 2 y 3).

Tras definir los componentes, se generó un diagrama de bloques (Ilustración 39), que es una representación gráfica del sistema mostrando los componentes funcionales necesarios y las interrelaciones que existen entre ellos. Al ser un elemento gráfico, es necesaria la

Componente	Veces de activación (por hora)	Duración del evento	Tiempo de uso por hora (s)	Tiempo de uso por hora (h)	Consumo instantáneo	Consumo por hora
Sensor de humedad	Constante	1 hr	3600 s	1	32 mA	32 mA
Módulo RF	Constante	1 hr	3600 s	1	4 mA	4 mA
Arduino NANO	Constante	1 hr	3600 s	1	15 mA	15 mA
Botón	1	2 s	2 s	0.00055	4.8 mA	0.00264 mA
LED RGB	Constante	1 hr	3600 s	1	30 mA	30 mA
					Total	81.00264 mA

Tabla 3. Componentes y consumo de corriente: Sensor. Elaboración propia.

Simbología

	Sensor de humedad		LEDs RGB
	Batería		Buzzer (alarma)
	Módulo de radiofrecuencia (emisor)		Reloj tiempo real
	Tarjeta de procesamiento		Batería
	Botón on/off		Módulo de radiofrecuencia (receptor)
			Tarjeta de procesamiento
			Botón on/off

Tabla 4. Simbología diagrama de flujo. Elaboración propia.

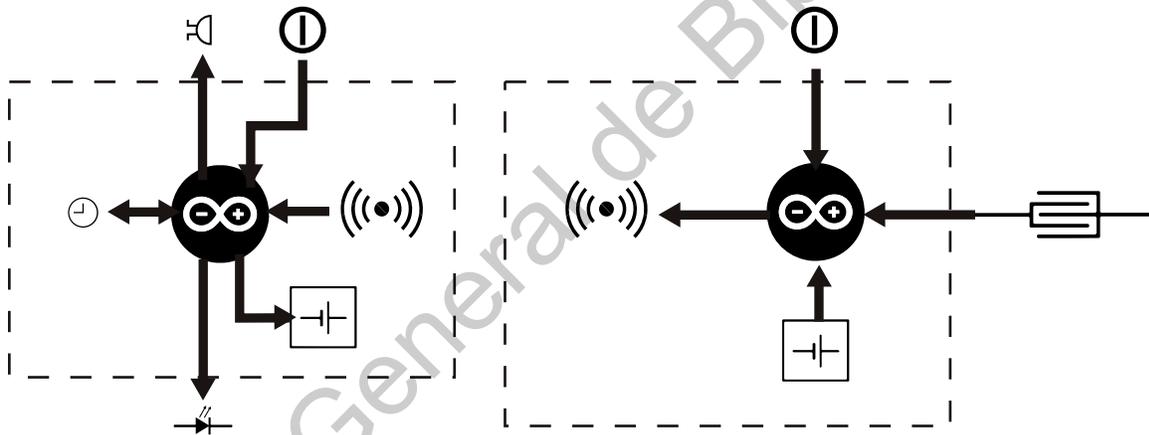


Ilustración 39. Diagrama de bloques. Elaboración propia.

implementación de simbología, razón por la cual se presenta una tabla con la información necesaria para la comprensión de éste (Tabla 4).

Pasando a la siguiente etapa de la metodología, se realizaron pruebas en un *protoboard* (Ilustración 40) probando el programa desarrollado en la plataforma de Arduino con una solución salina en relación 35 gr por cada 1000 ml para aumentar la densidad del líquido. Durante estas pruebas se caracterizó el sensor, generando una relación entre la cantidad de humedad registrada por éste y la cantidad de mililitros agregada (Tabla 5).

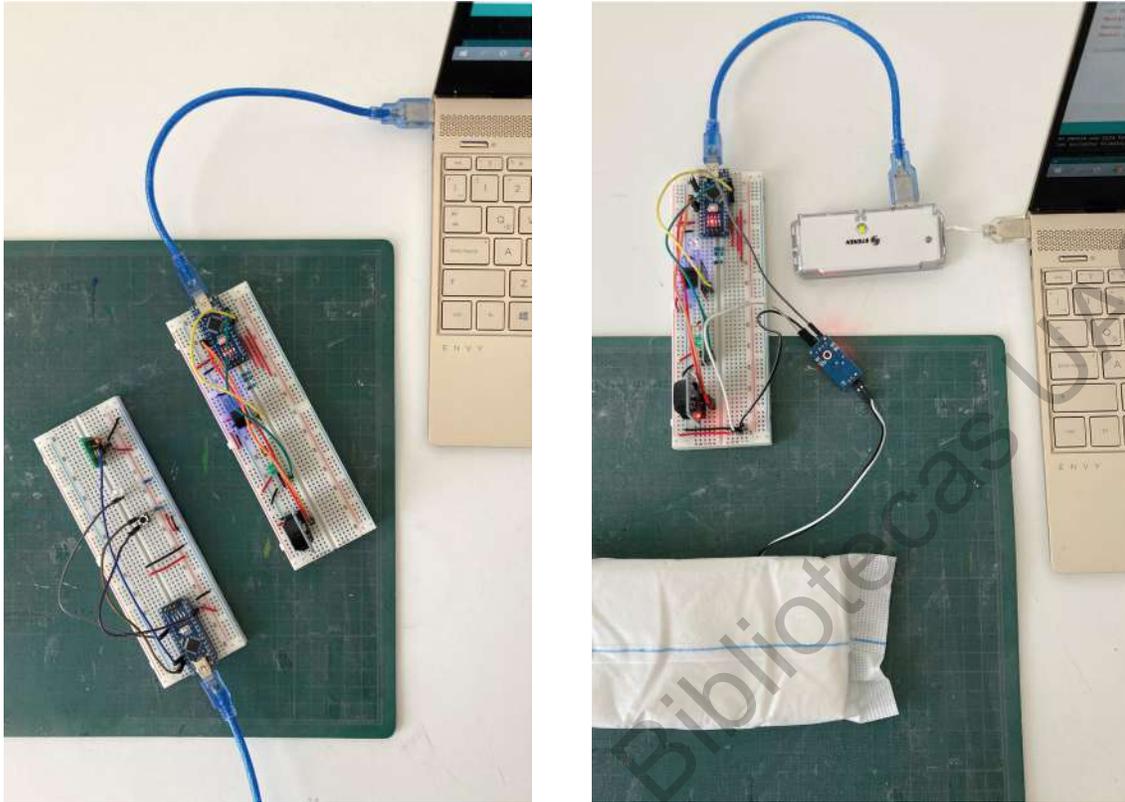


Ilustración 40. Pruebas en protoboard. Elaboración propia.

A partir de las pruebas realizadas se identificó que la toalla de maternidad llegaba a un punto de saturación a los 300 ml sin retener nada posterior a esta cantidad, razón por la cual el programa dejaba de registrar un cambio significativo y constante, manteniendo el mismo valor de humedad a pesar de continuar recibiendo líquido. Esto significó un cambio en la secuencia de uso del dispositivo pues significa que éste debe alertar al cuerpo médico que la toalla se ha saturado, guardar la información recabada hasta ese momento, y una vez que se haya cambiado de toalla, volver a colocar el sensor para entonces retomar el monitoreo a partir de la cantidad registrada.

Además, supone una reconfiguración del diagrama de flujo y, en consecuencia, del programa diseñado al tener que integrar una alerta adicional que indique la necesidad del cambio de toalla.

Lo anterior se ve facilitado gracias al diseño propuesto del sensor pues al separar el resto de los componentes electrónicos del sensor de

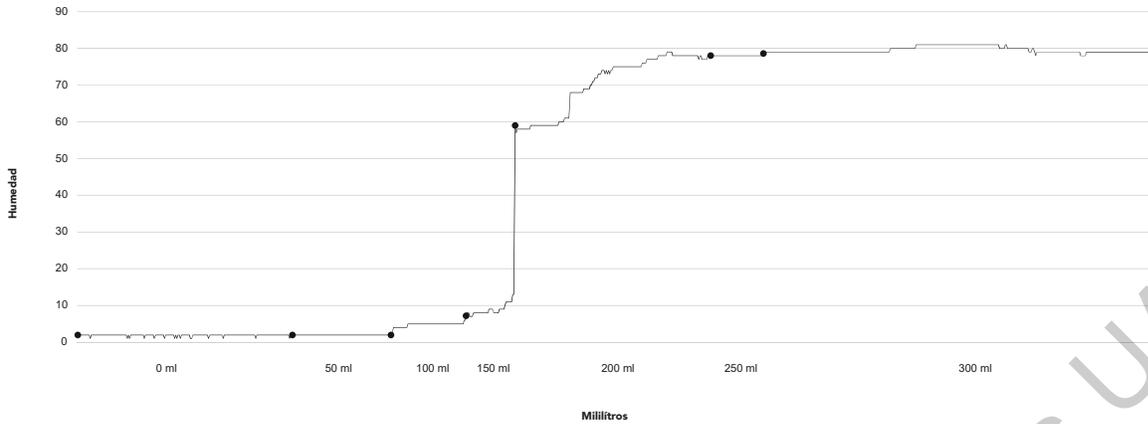


Tabla 5. Caracterización sensor de humedad. Elaboración propia.

humedad, éste es fácil de retirar y no requiere intervención en el resto del dispositivo.

Esta alerta, significa también que la mujer ha salido del parámetro normal de pérdida de sangre, y la necesidad del cambio de toalla, además de reducir el nivel de incomodidad de la paciente al no sentirse húmeda, da pauta para una posible exploración a mayor profundidad del estado de ésta, mejorando la calidad de atención que le es brindada.

Prototipo estético

En lo que respecta al desarrollo del prototipo estético, éste consistió en la impresión tridimensional de los modelos planteados en la etapa anterior con la finalidad de observar características de usabilidad, comunicación estética, ergonomía, etc., que no es posible identificar desde un modelo CAD y así, generar los cambios pertinentes en el dispositivo.

Se realizó la impresión de las piezas del monitor (Ilustración 41) lo que permitió verificar aspectos de tamaño de las partes y del dispositivo en general, así como la interacción entre éstas y los posibles cambios necesario a hacer. Estos consistieron redondear las esquinas del monitor a fin de disminuir el daño que una posible caída causaría y generar una forma con inclinación orgánica que fuera acorde a las condiciones emocionales de la paciente mencionadas previamente.

Continuando con la intención de proteger el dispositivo, se aumentó el grosor de *bumper* a fin de amortiguar un posible impacto en esquinas y



Ilustración 41. Modelo de impresión 3D: Monitor. Elaboración propia.

bordes en caso de caída, ya sea vertical en caso de una mala sujeción o en ángulo, causado por una caída del porta-sueros con el dispositivo en posición.

Respecto a la sujeción, se optó por cambiar completamente el diseño de ésta ya que la presente propuesta brinda un punto de contacto pequeño con el tubo del porta-sueros, que en caso de recibir presión en exceso botaría la pieza incumpliendo con su función principal.

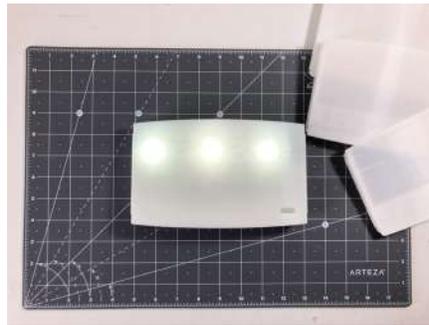
De igual manera, se realizaron pruebas con el objetivo de identificar el grosor que debe tener la pantalla para un adecuado funcionamiento (Ilustración 42). Para lo anterior, se ensamblaron las piezas que conforman el dispositivo y se activaron luces a fin de identificar qué variante de la pantalla permitía mejor el paso de la luz manteniendo su forma y brindando estabilidad al ensamblaje final.

Una vez realizada la prueba y basada en la observación, se tomó la decisión de usar la pantalla con un grosor de 2 mm ya que éste favorecía la percepción de la luz sin comprometer elementos de estructura,

Grosor de pantalla

0.8 mm

1.2 mm



2 mm

3 mm



Ilustración 42. Pruebas grosor de pantalla. Elaboración propia.

además de que la geometría de la pieza evita una posible distracción de los signos de la interfaz como el indicador de batería o de conexión a causa del indicador de hemorragia obstétrica.

Las correcciones realizadas al sensor a partir de la impresión de sus piezas (Ilustración 43) radicaron en la optimización de éstas al eliminar una de ellas pues tras realizar un análisis se consideró que la tapa de la carcasa y el elemento de integración de ésta, podían ser uno mismo facilitando así la producción del dispositivo y permitiendo una geometría más orgánica que fuera amigable con el estado emocional de la paciente al eliminar bordes y/o esquinas definidas e implementar redondeos.

De igual manera, el contenedor de los elementos electrónicos sufrió modificaciones de tamaño, ya que, si bien el tamaño de estos corresponde a las medidas actuales de la pieza, el espacio entre cada uno era poco lo que podía generar un funcionamiento inadecuado de

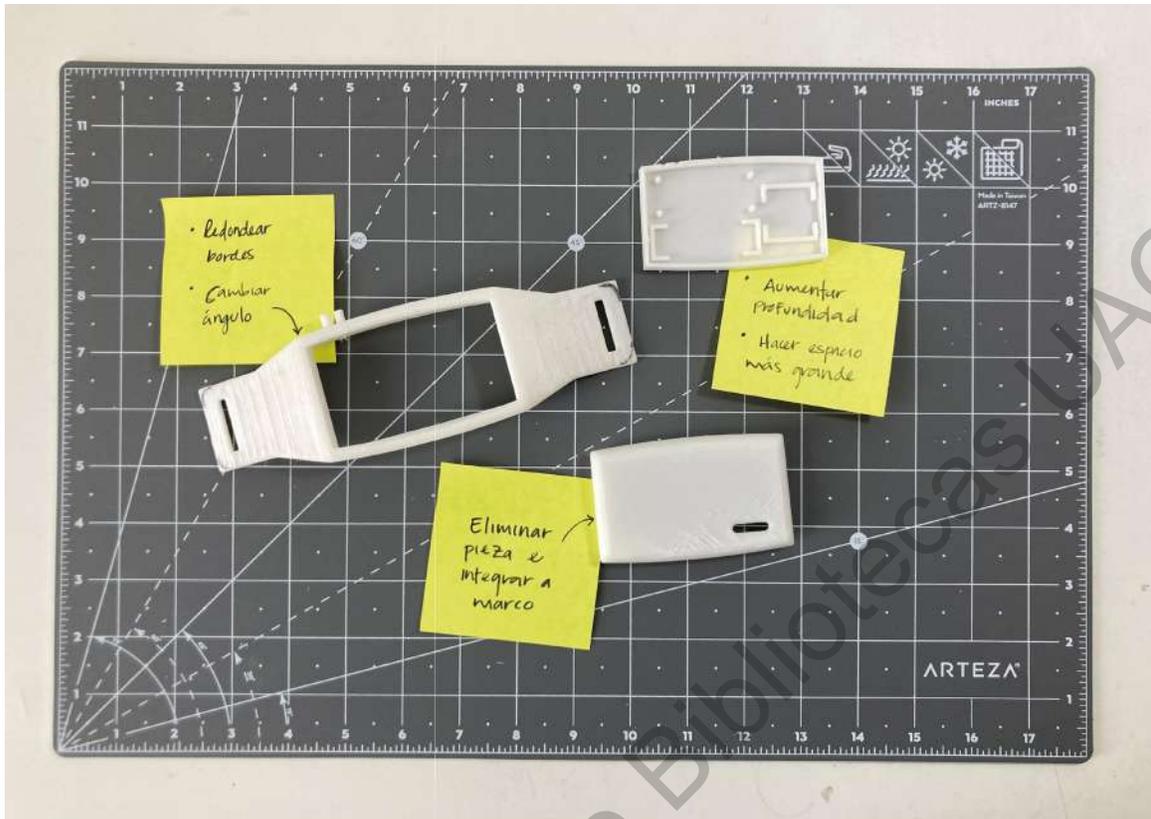


Ilustración 43. Modelo de impresión 3D: Sensor. Elaboración propia.

ellos o bien, una posible falla o que llevaría a un incumplimiento de su función y en circunstancias críticas un peligro para la paciente.

El ángulo correspondiente al marco que integra el resto de las piezas se redujo a fin de ser compatible con las medidas antropométricas consideradas para este proyecto permitiendo una sujeción adecuada que no significara incomodidad para el usuario.

Propuesta final

Una vez realizados los cambios mencionados y como resultado del proceso de diseño llevado a cabo a lo largo de esta metodología, continuando con lo obtenido de la primera iteración, surge la propuesta final, denominada comercialmente *Mobs*, que mantiene su descripción y elementos del planteamiento inicial.

El dispositivo diseñado consiste en un dispositivo de monitoreo obstétrico compuesto por dos elementos, sensor y monitor (Ilustración 44), cuya función principal es comunicar la existencia y evolución de



Ilustración 44. Render propuesta final: Mobs. Elaboración propia. Render: Héctor Zaragoza.

una hemorragia obstétrica mediante el uso de un sensor de humedad y elementos como luz y sonido para alertar al cuerpo médico tratante.

El desarrollo de los elementos que componen al sistema se desarrolló por separado, ya que como se mencionó, cada uno está dirigido a usuarios y necesidades distintas y, por lo tanto, sus requerimientos varían el uno del otro. Este proceso se llevó a cabo cuidando que los factores objetuales permitieran generar un sentido de familiaridad entre ambas partes ya que son parte de un mismo dispositivo.

El monitor (Ilustración 45) responde a las necesidades del cuerpo de salud tratante, considerando elementos de usabilidad que contemplan sus conocimientos mientras que al mismo tiempo su diseño estético busca generar una sensación de confianza, mediante el uso de colores, formas y texturas, en la paciente ya que ésta interactúa también con el dispositivo.

De igual manera, en su diseño se contemplaron las circunstancias bajo las cuales éste debe de funcionar lo que llevó a la integración de elementos como *bumpers* y métodos de sujeción óptimos para un periodo de uso de cuatro horas.

El sensor (Ilustración 46), al ser un elemento que se encuentra en contacto directo con la paciente, fue desarrollado bajo consideraciones

ergonómicas y de usabilidad. Además de que su diseño, al separar el sensor de humedad del resto de los componentes, permite que la manipulación de este ocurra sin generar molestias a la paciente, mejorando la calidad de sus cuidados.

La comunicación de la información respecto a la hemorragia obstétrica se propone mediante el uso de elementos cualitativos denominados “colores semáforo” (Ilustración 47), lo anterior se recupera de la primera iteración puesto que esto permite a los integrantes del cuerpo de salud interpretar la información de manera rápida y concisa, eliminando la posibilidad del error humano al no integrar números y hacer uso de un



Ilustración 45. Render propuesta final: Monitor Mobs. Elaboración propia. Render: Héctor Zaragoza.



Ilustración 46. Render propuesta final: Sensor Mobs. Elaboración propia. Render: Héctor Zaragoza.



Ilustración 47. Render propuesta final: Colores semáforo. Elaboración propia. Render: Héctor Zaragoza.

elemento de carácter cotidiano en donde el significado de cada color es familiar para todo ser humano.

Además, permite que la paciente y sus familiares se integren al sistema de cuidadores al tener una retroalimentación en donde la información

se encuentra simplificada y no es necesario contar con conocimientos médicos previos.

La implementación de este producto, que durante todo su desarrollo tuvo en consideración el factor humano, supone una mejora en las condiciones en las que se encuentra la paciente al complementar la atención brindada por el cuerpo de salud tratante y a su vez, se considera una optimización del sistema potencializando una reducción de muertes maternas.

Además, el dispositivo considera la condición de vulnerabilidad en la que se encuentra la paciente y mediante forma, tamaño, color y textura, busca crear un sentido de confianza en éste mismo y en el cuerpo médico tratante favoreciendo su recuperación al no haber un contexto agresivo.

EVALUACIÓN FUNCIONAL
Monitor

Mobs es un monitor obstétrico compuesto por dos elementos (monitor y sensor) cuyo objetivo es detectar la existencia y evolución de una hemorragia obstétrica.

Observe el objeto
De acuerdo al contexto dado y según su consideración, coloque el dispositivo.

Tiempo (aprendibilidad) _____

Tiempo (colocación) _____ No. intentos _____

Visibilidad
Indique del 1 al 5, según la cantidad de luz que hay en el espacio y la distancia indicada, el nivel de visibilidad que tiene de los siguientes elementos del monitor.

Nivel de iluminación: Bajo
1 metro

Hemorragia					
Verde	1	2	3	4	5
Amarillo	1	2	3	4	5
Rojo	1	2	3	4	5
Conexión					
	1	2	3	4	5

Nivel de iluminación: Bajo
4 metros

Hemorragia					
Verde	1	2	3	4	5
Amarillo	1	2	3	4	5
Rojo	1	2	3	4	5
Conexión					
	1	2	3	4	5

Contexto
Información básica del dispositivo

Aprendibilidad
Capacidad de integrar nuevos conocimientos.

Usabilidad
Facilidad de uso respecto a iluminación.

Nivel de iluminación: Medio
1 metro

Hemorragia					
Verde	1	2	3	4	5
Amarillo	1	2	3	4	5
Rojo	1	2	3	4	5
Conexión					
	1	2	3	4	5

Nivel de iluminación: Medio
4 metros

Hemorragia					
Verde	1	2	3	4	5
Amarillo	1	2	3	4	5
Rojo	1	2	3	4	5
Conexión					
	1	2	3	4	5

Nivel de iluminación: Alto
1 metro

Hemorragia					
Verde	1	2	3	4	5
Amarillo	1	2	3	4	5
Rojo	1	2	3	4	5
Conexión					
	1	2	3	4	5

Nivel de iluminación: Alto
4 metros

Hemorragia					
Verde	1	2	3	4	5
Amarillo	1	2	3	4	5
Rojo	1	2	3	4	5
Conexión					
	1	2	3	4	5

mobs.

Ilustración 48. Formato de prueba: Monitor. Elaboración propia.

Evaluación

Como parte de la etapa de comprobación se realizaron una serie de pruebas cuyo objetivo es corroborar la funcionalidad de los dispositivos en su contexto de uso. Cada objeto que compone el sistema de monitoreo fue evaluado por separado ya que su respectiva prueba consideraba elementos distintos.

Para las pruebas se realizó un formato en donde se daba información básica del dispositivo, así como el objetivo de este brindando contexto al usuario sin dar una explicación detallada que pudiera influir en las siguientes etapas de la evaluación. Posteriormente se examinaron elementos de aprendibilidad y funcionalidad del monitor y sensor respectivamente, adecuando los experimentos a la función que cada uno funge dentro del sistema.

La población participante en las pruebas referentes al sensor fue enteramente femenina de edades de entre 23 y 58 años, esto ya que las medidas antropométricas consideradas para la estructura del dispositivo y la banda de sujeción consideraron este grupo. En contraste, la población que participó en la evaluación del monitor se abrió al sexo femenino y masculino de edades de 23 a 60 años puesto que los elementos a comprobar no tenían relación con el sexo del usuario.

En el caso del monitor, la evaluación realizada (Ilustración 48) comprende los aspectos mencionados previamente de contexto y



Ilustración 49. Pruebas de funcionalidad: Monitor. Elaboración propia.

aprendibilidad en donde el objetivo es identificar que tan intuitivo es el objeto al momento de colocarse y la facilidad con la que el usuario lo hace. La prueba, además comprobó elementos de visibilidad de los indicadores lumínicos con respecto a la iluminación del entorno.

Los signos que se sometieron a estos experimentos fueron el de hemorragia obstétrica, es decir los colores semáforo, y el de conexión, el cual fungió como muestra del resto de los elementos que conforman la interfaz del monitor ya que la tecnología con la que se contaba al momento de la realización de las pruebas no es completamente compatible con la propuesta estética del dispositivo puesto que su aplicación a éste requiere una adecuación en elementos de tamaño y forma, principalmente.

Las pruebas de funcionalidad de esta última etapa de la evaluación consideraron también la distancia desde la cual se observaba el dispositivo y como cada color era percibido según la cantidad de luz con la que se contaba en el cuarto (Ilustración 49).

EVALUACIÓN FUNCIONAL
Sensor

Mobs es un monitor obstétrico compuesto por dos elementos (monitor y sensor) cuyo objetivo es detectar la existencia y evolución de una hemorragia obstétrica en pacientes posparto.

Observe el objeto
De acuerdo al contexto dado y según su consideración, colóquese el dispositivo.

Tiempo (aprendibilidad) _____

Tiempo (colocación) _____ No. intentos _____

Coloque el dispositivo a un tercero

Tiempo (colocación) _____ No. intentos _____

Indique según lo solicitado
Circule el número que representa que tan fácil fue el uso del dispositivo. Donde 5 es sumamente fácil y 1 para nada fácil.

Hora 1	1	2	3	4	5
Hora 2	1	2	3	4	5
Hora 3	1	2	3	4	5
Hora 4	1	2	3	4	5

Circule el número que representa cuanto obstaculizó el uso del dispositivo sus movimientos. Donde 5 significa que no pudo realizar sus movimientos y 1 no lo obstaculizó en lo absoluto.

Hora 1	1	2	3	4	5
Hora 2	1	2	3	4	5
Hora 3	1	2	3	4	5
Hora 4	1	2	3	4	5

Contexto
Información básica del dispositivo

Aprendibilidad
Capacidad de integrar nuevos conocimientos.

Usabilidad
Comodidad al momento de uso según varios factores.

Circule el número que indica cuánto obstaculizó la circulación del flujo sanguíneo de su pierna. En donde 5 es mucho, al punto de generar molestia y 1 es nada.

Hora 1	1	2	3	4	5
Hora 2	1	2	3	4	5
Hora 3	1	2	3	4	5
Hora 4	1	2	3	4	5

Circule el número que representa cuán pesado considera el dispositivo en relación a su uso. En donde 5 es el punto máximo soportable y 1 no representa molestia alguna.

Hora 1	1	2	3	4	5
Hora 2	1	2	3	4	5
Hora 3	1	2	3	4	5
Hora 4	1	2	3	4	5

Circule el número que indica cuán apropiado considera el tamaño del dispositivo en relación a su uso. Donde 5 es totalmente apropiado y 1 completamente inapropiado.

Hora 1	1	2	3	4	5
Hora 2	1	2	3	4	5
Hora 3	1	2	3	4	5
Hora 4	1	2	3	4	5

Circule el número que representa el grado de comodidad general percibido durante el uso del dispositivo. Donde 5 es totalmente cómodo y 1 completamente incómodo.

Hora 1	1	2	3	4	5
Hora 2	1	2	3	4	5
Hora 3	1	2	3	4	5
Hora 4	1	2	3	4	5

mobs.

Ilustración 50. Formato de prueba: Sensor. Elaboración propia.

Esta serie de experimentos permitió corroborar que la aplicación de un sistema de sujeción basado en tornillo facilita la comprensión del dispositivo en cuanto a la posición en la que debe colocarse, así como la manera de hacerlo pues resulta familiar para el usuario. En consecuencia, el tiempo de aprendibilidad fue en promedio de 33 segundos mientras que el de colocación fue de 10 segundos y el número de intentos en todas las pruebas fue uno.

Sin embargo, como resultado de un ejercicio de observación mientras se realizaba la prueba, se identificó que el ángulo de apertura para sujetarse al tubo del porta-suero es cerrado por lo que los sujetos de prueba se vieron en la necesidad de aplicar un esfuerzo adicional al momento de la colocación.

En lo que respecta a los signos, éstos recibieron un nivel de visibilidad máxima en la mayoría de los contextos. La excepción a esto fue el signo de conexión cuando el de hemorragia obstétrica se encuentra en amarillo, ya que la brillantez de este último es demasiada y provoca que sea difícil identificar la luz de conexión.

La evaluación funcional del sensor consistió, al igual que la anterior, en brindar al usuario, a través de un formato (Ilustración 50), información referente al sistema de monitoreo, así como experimentos relacionados a la aprendibilidad buscando identificar que tan intuitivo es el dispositivo partiendo de elementos como la forma, tamaño y componentes, así como la facilidad de colocación a sí mismo y a una tercera persona.



Ilustración 51. Pruebas de funcionalidad: Sensor. Elaboración propia.

Además de la usabilidad de éste, mediante una prueba de uso continuo por cuatro horas (Ilustración 51), buscando imitar una secuencia de uso real. Para este experimento las pacientes realizaron sus actividades cotidianas con la finalidad de probar el dispositivo en diferentes circunstancias y ver como éstas afectaban en la comodidad percibida por la paciente. Ésta fue evaluada considerando aspectos de peso, tamaño, que tanto obstaculiza los movimientos, etc.

Los resultados de este experimento permitieron ver que la comodidad general del dispositivo según los sujetos de prueba es en las primeras dos horas de uso es de cuatro, mientras que en las siguientes horas este nivel baja a tres pues al momento de realizar movimientos como levantarse o bien caminar, el objeto se resbala y se ven en la necesidad de estar al pendiente de que éste no caiga al piso.

Por esta misma razón, las usuarias indicaron que, aunque el sensor les permitía realizar sus movimientos sin problema alguno, el estar al pendiente de que éste no se cayera significaba que muchas veces tuvieron que sujetarlo con una mano al estar paradas.

Si bien esta información resulta importante para conocer circunstancias críticas bajo las cuales el funcionamiento del dispositivo no es el ideal, es pertinente recordar que el uso de éste se plantea durante las primeras cuatro horas del posparto, en las cuales la paciente se encuentra recostada y en observación sin realizar movimientos ambulatorios.

En este sentido, la evaluación respecto al peso del sensor, su tamaño y qué tanto obstaculiza la circulación de la pierna es valiosa pues en lo que respecta a este último, todas las usuarias indicaron que en ningún momento tuvieron molestias de circulación provocadas por el dispositivo y consideraron apropiado y cómodo el tamaño y peso de éste mismo.

En lo que respecta a la aprendibilidad del objeto, cada usuaria tardó entre un minuto y dos para comprender el dispositivo y cómo debía de colocarse, tomándoles dos intentos pues en una primera instancia creían que el sensor se colocaba en el abdomen, profundizando, esto se debe a que la forma y el tamaño del objeto les recordaba a una cangurera, accesorio que comúnmente se usa alrededor de la cadera.



Ilustración 52. Entrevistas a especialistas. Elaboración propia.

Para poder colocarlo adecuadamente, se requirió brindarles más información respecto a éste, indicando en qué zona del cuerpo se colocaba el sensor de humedad. Una vez obtenido este dato, las usuarias tardaron entre 30 y 40 segundos en colocarse el dispositivo mientras que la colocación a un tercero era de 28 segundos en promedio y el número de intentos bajó a uno.

En comentarios generales los sujetos de prueba indicaron que el objeto les parece cómodo y ergonómico, pensándose a diversas posiciones de uso una vez colocado en la pierna. Su única molestia fue el tener que estar al pendiente de que el dispositivo no se cayera cuando estaban realizando alguna actividad de pie, sin embargo, recordando lo dicho previamente, esto resulta importante de saber, pero no es crítico pues no es el modo de uso que se tiene planteado.

En una siguiente etapa de evaluación se consultó a especialistas en ginecología y obstetricia, oncología ginecológica, personal del cuerpo de enfermería de esta área, así como jefes de área en hospitales ginecológicos acerca del proyecto el cual se les presentó a través de una exposición (Ilustración 52).

El objetivo de esta prueba fue corroborar la pertinencia del proyecto, identificar elementos que el dispositivo no estuviera considerando o bien, posibles mejoras a implementar en futuras etapas del proyecto.

Estas entrevistas tuvieron lugar en un hospital de carácter público a fin de conocer el contexto de aplicación del dispositivo y que el personal que labora en éste pudiera dar, desde su punto de vista, una retroalimentación que considere todos los aspectos del entorno, el padecimiento y como se integra *Mobs* al sistema de cuidados que recibe la paciente.

Una vez presentado el dispositivo, la retroalimentación dada por parte del cuerpo médico en lo que respecta al sensor consistió principalmente en tres elementos: el primero, la situación de que, en la mayoría de las veces, la toalla de maternidad no está sujeta por ningún elemento (adhesivo, ropa interior, etc.) esto por cuestiones de practicidad al momento de realizar las revisiones. Sin embargo, ésta circunstancia significa que la sangre no siempre resida en esta, si no que fluya hacia las sábanas provocando una pérdida de información por parte del sensor de humedad.

Complementando con esto, los ginecólogos entrevistados sugirieron considerar que en ocasiones existen coágulos que funcionan como tapón en la vagina, provocando que la sangre no fluya hacia la toalla de maternidad y se quede dentro del útero y no es hasta que se realiza la revisión y el tacto que el cuerpo médico es capaz de removerlo y permitir el flujo de la sangre acumulada, dando cuenta de una pérdida de volumen sanguíneo mayor a la estimada por la toalla de maternidad o las compresas.

Por último, en la retroalimentación del sensor, mencionaron que colocarlo frontalmente puede ocasionar obstrucción debido a que en ocasiones se utilizan elementos como catéteres, sondas *Foley*, etc., y éstos se adhieren a la pierna por la parte frontal y contar con otro elemento saturaría el espacio lo que complicaría las revisiones para el cuerpo de salud tratante, así como generar molestias a la paciente.

En lo que respecta al monitor, dos de los comentarios hechos por parte de los especialistas resultaron importantes. El primero, intensificar los colores ya que, partiendo de los renders presentados, se comentó que éstos son demasiado sutiles y existe la preocupación de que sean difíciles de distinguir en el contexto de uso.

Sin embargo, retomando los resultados de las pruebas funcionales que se realizaron en un contexto similar en cuanto a iluminación, es



Ilustración 53. Monitor en contexto de uso. Elaboración propia.

pertinente recordar que si bien, existió un caso en el cual los signos no se percibían adecuadamente, el resto no presentó problemas de visibilidad.

El otro aspecto por considerar y que resulta de suma importancia es que, en un hospital público, el cual es el contexto meta del proyecto en cuestión, no siempre se cuenta con tripiés o porta-sueros sobre los cuales colocar el sensor y es vital que el monitor cuente con un modo de sujeción que permita adaptarse a los diferentes entornos económicos que hay incluso dentro de los hospitales de esta índole pues hay algunos que están mejor equipados que otros.

En consecuencia, a esto y estando en el ambiente en el cual se plantea el uso del dispositivo, se experimentó con nuevos lugares de posicionamiento considerando los elementos básicos con los que se cuenta en cualquier hospital (Ilustración 53).

Además de los comentarios realizados respecto a elementos que el diseño del dispositivo falta por considerar, los especialistas entrevistados mostraron un acuerdo unánime en la importancia y pertinencia del desarrollo del monitor obstétrico pues la implementación de éste facilita su tarea de revisión y permite que se brinde una atención más detallada y de mejor calidad a la paciente.

Las pruebas de funcionalidad realizadas, así como el acercamiento a especialistas nos permiten concluir que, mediante la integración de elementos objetuales de diseño y tecnológicos descritos anteriormente, es posible lograr una cuantificación precisa de una hemorragia obstétrica con ciertos grados de usabilidad que faciliten las actividades del cuerpo de salud tratante mientras que brindan una atención de calidad a la paciente.

Conclusiones

A partir de la investigación realizada se identificó que las hemorragias obstétricas representan un problema de salud importante a nivel mundial y nacional. Por la naturaleza del problema la principal afectada de éste es la mujer, quien enfrenta consecuencias como la muerte, histerectomía, atrofiamiento de órganos o funciones biológicas entre otras, sin embargo, se pierde de vista que las consecuencias impactan en igual magnitud a la familia y e incluso al cuerpo médico tratante.

Si bien existe un desarrollo de soluciones, éste está centrado en la contención de una HO cuando, analizando estadísticas además de datos médicos, centrarse en una identificación temprana potencializa el éxito del tratamiento.

Como resultado del análisis de la problemática, así como una investigación del contexto de ésta, se identificó la necesidad de un método de diagnóstico oportuno que cuantifique de manera precisa el volumen de sangre perdido.

Partiendo de lo anterior se generó un perfil de usuario que dio guía para el desarrollo del dispositivo, durante esta etapa de la investigación identificó la complejidad que suponen los diferentes usuarios del objeto pues, aunque en ambos son el cuerpo médico y la paciente. Cada uno, sensor y monitor, tienen un usuario principal cuyas necesidades deben de ser consideradas sin que esto suponga ignorar las del otro.

Habiendo definido esto, se procedió a la elaboración de conceptos de solución de lo que se pudo concluir que es vital tener en consideración no sólo la necesidad a resolver y las características de ésta sino también al usuario y su entorno, partiendo de la importancia que tiene en el desarrollo de dispositivos médicos la interacción usuario-objeto-

entorno y como un buen sistema puede propiciar un mejor uso del dispositivo y en consecuencia una fácil y pronta recuperación por parte del paciente.

A través de la implementación de herramientas de proyección como lo son bocetos y modelos digitales se identificó la importancia que tienen estas en un proceso de diseño, facilitando aspectos de la conceptualización y producción al permitir previsualizar los resultados del proceso de diseño y a través de esto, poder evaluar las propuestas desarrolladas.

La presente investigación, al ser resultado de un ejercicio académico, contó con dos etapas de desarrollo lo que brindó elementos para poder evaluar y comparar los resultados de ambas fases, buscando optimizar aspectos de producción y a la vez aterrizar el proyecto al contexto haciendo que el diseño sea pertinente y adecuado para los usuarios. Lo anterior se comprobó a través de experimentos que tuvieron como objetivo evaluar aspectos funcionales desde el punto de vista del usuario, así como de especialistas en el tema en el contexto real de uso y ambientes simulados.

En cada una de las pruebas se obtuvieron resultados decisivos que proporcionan información relevante para futuras etapas de desarrollo del producto resaltando la importancia y pertinencia de la existencia del proyecto.

Partiendo de lo anterior, y en respuesta al objetivo general de la investigación se desarrolló Mobs, un dispositivo de monitoreo obstétrico que, mediante la cuantificación de sangre por medio de un sensor de humedad, comunica la existencia de una HO, así como su evolución a través de colores semáforo (verde, amarillo y rojo).

La implementación de este producto, que durante todo su desarrollo tuvo en consideración el factor humano, supone una mejora en las condiciones en las que se encuentra la paciente al complementar la atención brindada por el cuerpo médico tratante y a su vez, se considera una optimización del sistema potencializando una reducción de muertes maternas.

De igual manera, como resultado de la metodología de diseño de dispositivos electrónicos y las pruebas funcionales realizadas, es posible

dar respuesta a la hipótesis presentada en este trabajo al verificar que la función crítica llevada a cabo por los sensores de humedad permite realizar un monitoreo e identificar cambios en la saturación de la toalla de maternidad a través de las lecturas realizadas y comunicar esto por medio de elementos cualitativos. Esto mediante la implementación de aspectos de ergonomía y usabilidad que dan como resultado un dispositivo cuyas características consideran al usuario (paciente y personal de salud) en la definición de cada uno de sus factores objetuales, siendo estos color, textura, forma, signos, símbolos, etc. Lo anterior permite que experiencia del usuario con el objeto en su entorno sea satisfactoria al haber una efectiva comunicación e interacción entre los elementos del sistema potencializando el éxito del dispositivo en la comunicación de la existencia y evolución de la hemorragia obstétrica.

Como se mencionó anteriormente, durante la etapa de evaluación surgieron observaciones que dan pie a futuras etapas desarrollo de este proyecto buscando optimizar el funcionamiento del dispositivo, facilitar la labor del cuerpo de salud tratante y por consecuencia, mejorar los cuidados que recibe la paciente.

Lo anterior a través del uso de disciplinas como el diseño industrial que, aunado a una metodología que potencialice el alcance de la investigación, abarcando elementos de primera y segunda mano, es posible identificar áreas de oportunidad en diferentes ámbitos, en el caso de esta investigación, enfocado al diseño de dispositivos médicos.

La implementación de un proceso de investigación y desarrollo de productos fundamentados teóricamente desde el Diseño Industrial da pauta a posibles soluciones con perspectivas de líneas de innovación necesarias para el desarrollo integral de una sociedad.

Referencias

- Akinfiyev, T., Fernández, R., Otero, A., Palacios, F. (2011). Dispositivo para la medición de la cantidad de líquido que fluye y el procedimiento para su medición. Oficina Española De Patentes Y Marcas. España.
- Alvarado, E. (2017). Manual de Medición de Caudales. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). Guatemala.
- Apaza, J., Huamán, M. (2015). Flujo sanguíneo uterino en el embarazo. Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia, 61(2),127-133. ISSN: 2304-5124.
- Bound Tree (2020). Blood Suction Container. Consultado el 3 de marzo del 2020, en: <https://www.boundtree.com/Suction/Suction-Canisters/Hydrophobic-Rigid-Suction-Canister-With-Elbows-1200cc-Red/p/594410>
- Casado, C., Garreta, M., Hassan Y., Martínez L., Mor, E. (2011). Interacción persona-ordenador. Primera edición. Universitat Oberta de Catalunya. España.
- Chatrath C., Khetarpal R., Kaur H., Bala A., Magila M. (2016) Anesthetic considerations and management of obstetrics Hemorrhage. International Journal of Scientific Study. Páginas: 240-248.
- Chun-Tung L., Yu-Han L., (2015). Smart Roller Clamp. Consultado el 10 de marzo de 2020, en: <https://www.yankodesign.com/2015/08/05/ivs-made-easy/>
- Correa, F., (2021). En entrevista realizada por Natalia Sil Mejía el 17 de febrero de 2021.

- Cuffaro, D., Paige, D., Blackman, C., Laiturí, D., Covert, D., Sears, L., & Nehez-Cuffaro, A. (2013). The industrial design. Reference + specification book. Massachusetts: Rockport Publishers.
- Dirección General de Epidemiología (2019). Informe Semanal de Vigilancia Epidemiológica: Muerte Materna. Secretaría de Salud. SINAVE. México.
- Ecolab (2020). Surgical equipment drapes. Consultado el 03 de marzo del 2020, en: [https://www.ecolab.com/solutions/equipmentdrapes#f:@websolutions=\[Equipment%20Drapes\]&f:@webapplications=\[Surgical%20Solutions\]](https://www.ecolab.com/solutions/equipmentdrapes#f:@websolutions=[Equipment%20Drapes]&f:@webapplications=[Surgical%20Solutions])
- Farfán, L. (2021). En entrevista realizada por Natalia Sil Mejía el 17 de julio de 2021.
- Fernández A., Llorente M., Fadruga D. (2015). La comunicación en los productos de Diseño Industrial. Revista de la Universidad Cubana de Diseño. Cuba. Edición 03.
- Fernández, S. (2017). Indicadores de Líquido y Humedad. Consultado el 7 de marzo del 2020, en: <https://www.climasmonterrey.com/que-son-los-indicadores-de-liquido-y-humedad>
- Flores, C. (2001). Ergonomía para el diseño. México: Librería.
- Flores V., García J. (2014). Uso de suturas de compresión uterina para el tratamiento de la hemorragia obstétrica. Revista Hospital Juárez. México; 81(2): 104-109
- Forte Medical. (2015). Peezy Midstream UK. Consultado el 6 de marzo de 2020, en: <https://forte-medical.co.uk/midstream/>
- Gualdrón, N. (2018). DISEÑO PARA EL BIENESTAR HUMANO: El sentido y el contenido del discurso gráfico. Revista Luciérnaga. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. Edición 19.
- Hakky, S. (1988). Blood Loss Measurement. United States Patent. Largo, Florida.
- Huelves, A., Aguayo F., Lama J., Soltero V. (2009). Diseño para la usabilidad de productos. Técnica Industrial. México. Edición 279.

- IF World Design Guide. (2018). Transfusion Predictor. Consultado el 14 de marzo del 2020, en: <https://ifworlddesignguide.com/entry/161434-transfusion-predictor>
- IMSS (2017). Diagnóstico y Tratamiento Del Choque Hemorrágico En Obstetricia. Catálogo Maestro de Guías de Práctica Clínica:162-09. México.
- INEGI (2018). Registro de nacimientos. México. Consultado el 25 de enero del 2020, en:https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=
- Jing J., Pei X., Ming T., Peng G., (2018). Transfusion Predictor. Consultado el 10 de marzo del 2020, en: <https://ifworlddesignguide.com/entry/161434-transfusion-predictor>
- Lacariere, D. (2020) En entrevista realizada por Natalia Sil Mejía el 1 de febrero de 2020.
- Leaders, J. (2012). Methods and Apparatus for Fluid Flow Measurement. World Intellectual Property Organization. Atlanta, Georgia, EEUU.
- Lozano L., Bohórquez A., Zambrano G. (2016) Implicaciones familiares y sociales de la muerte materna. Rev. Univ. Salud. Páginas; 18(2):364-372.
- Martinell, E. (2016). El Diseño Industrial en el Ámbito de los Dispositivos Médicos. Elisava Temes de disseny, ISSN 2385-7951, N°. 32, 2016, págs. 48-55.
- Martínez, O. A., Portillo, J., Tamés, J. A., Martínez, J. C., Carranza, S. (2015). Equipo de respuesta inmediata, análisis de 59 casos con hemorragia obstétrica. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social, 53(2),132-135. ISSN: 0443-5117.
- Mesibov, M. (2018). Designing Experiences to Improve Mental Health. Recuperado de: <https://www.smashingmagazine.com/2018/10/designingexperiences-improving-mental-health/>
- Ministerio de Salud de Panamá. (2015). Guías de Manejo de las Complicaciones en el Embarazo. Panamá.
- Moldenhauer, J. (2020). Atención posparto. Manual MSD. Consultado el 12 de mayo de 2021, en: <https://www.msdmanuals.com/es-mx/>

professional/ginecolog%C3%ADa-y-obstetricia/atenci%C3%B3n-
posparto-y-trastornos-asociados/atenci%C3%B3n-posparto

Moreno, C., Collado, R., Bellón M. (2016). Capitulo Extracción De Muestras De Orina. Enfermería en Cuidados Críticos Pediátricos y Neonatales. Almería, España. Consultado el 6 de marzo del 2020, en: <https://ajibarra.org/D/post/extracion-de-muestras-de-orina/>

Moreno, R., Martínez, R. (2015). Eficiencia hospitalaria medida por el aprovechamiento del recurso cama en un hospital de segundo nivel de atención. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social, vol. 53, núm. 5, pp. 552-557.

Morfeld, D., Charmasson, H. (1986). Blood-Loss Measurement Apparatus. United States Patent. San Diego, California.

NOM-007-SSA2-2016, Para la atención de la mujer durante el embarazo, parto y puerperio, y de la persona recién nacida. Diario Oficial de la Federación. México. Enero 2016.

Organización Mundial de la Salud (2019). Mortalidad Materna. Obtenido el 22 de enero del 2020, de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/maternal-mortality>

Pampers. (2019). Lumi: Sleep Sensor. Consultado 14 de marzo del 2020, en: <https://www.pampers.com/en-us/lumi/sleep-sensor>

Programa Nacional de Salud Sexual y Reproductiva Programa Materno Infantil (2015). Guías De Manejo De Las Complicaciones En El Embarazo. Ministerio de Salud de Panamá. Panamá.

Rani PR, Begum J. (2017). Recent Advances in the Management of Major Postpartum Hemorrhage Review. J Clin Diagn. Res.

Roser, M., Ritchie, H. (2015). Maternal Mortality. OurWorldInData.org. Consultado el 22 de enero de 2021, en: <https://ourworldindata.org/maternal-mortality>

Ruiz, R., Cruz, P., Torres, L. (2011). Hemorragia obstétrica, causa de muerte materna. IMSS. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social, 50(6),659-664. ISSN: 0443-5117. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4577/457745498013>

Sloan Kettering Institute (2019). Cuidado de su drenaje Penrose. Memorial Sloan Kettering Cancer Center. Consultado el 05 de marzo del 2020,

en: <https://www.mskcc.org/es/cancer-care/patient-education/caring-your-penrose-drain>

Stanford Biodesign (2000). Biodesign Innovation Process. Consultado el 16 de marzo del 2020, en: <http://biodesign.stanford.edu/about-us/process.html>

Turner, T. (2015). IVs Made Easy. Consultado el 14 de marzo del 2020, en: <https://www.yankodesign.com/2015/08/05/ivs-made-easy/>

Velásquez, V., González M., Ardila H. (2013). Experiencia en el manejo de la hemorragia obstétrica en una unidad de alta dependencia. Acta Colombiana de Cuidado Intensivo; 13 (1): 33-38.

Vélez, G., Agudelo, B., Gómez, J.G., Zuleta, J.J. (2009). Código Rojo: Guía para el Manejo De La Hemorragia Obstétrica. Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología, 60(1),34-48. ISSN: 0034-7434.

Zuckerwise, L., Pettker, C., Illuzzi, J., Raab, C., Lipkind, H. (2014). Use of a Novel Visual Aid to Improve Estimation of Obstetric Blood Loss. American College of Obstetricians and Gynecologist. VOL. 123, NO. 5. Páginas 982-987.

Dirección General de Bibliotecas UAO