



Dispositivo de movilidad urbana para usuarios de sillas de ruedas en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

Urban mobility device for wheelchair users in the Metropolitan Area of the Valley of Mexico (ZMVM)

Israel Garduño-Bonilla¹ , Emilio Martínez de Velasco y Arellano¹ , Ana Lilia Laureano-Cruces^{1,2} 

¹Posgrado en Diseño y Desarrollo de Productos, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad-Azcapotzalco, Av. San Pablo 180 Col. Reynosa Tamaulipas C.P. 02200, Ciudad de México, México

²Departamento de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad-Azcapotzalco, Av. San Pablo 180 Col. Reynosa Tamaulipas C.P. 02200, Ciudad de México, México

Autor de correspondencia: Israel Garduño Bonilla, Posgrado en Diseño y Desarrollo de Productos, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad-Azcapotzalco, Ciudad de México, México. Email: al2201800475@azc.uam.mx. ORCID: 0000-0001-5395-1369.

Recibido: 14 de Agosto del 2021 **Aceptado:** 25 de Noviembre del 2021 **Publicado:** 9 de Diciembre del 2021

Resumen. Las personas con discapacidad son un sector importante de la población que necesita movilizarse en la Zona Metropolitana del Valle de México, para trabajar, asistir a la escuela o realizar actividades cotidianas. El objetivo del trabajo consiste en diseñar el prototipo de un dispositivo de movilidad urbana independiente, adaptable a sillas de ruedas de uso cotidiano. Para ello, fue utilizado como método el Modelo General del Proceso de Diseño de la Universidad Autónoma Metropolitana, elegido por ser adecuado para el diseño y desarrollo de productos. Como resultado se obtuvo el prototipo funcional escala 1:1, con la propuesta de integrarse en estaciones del transporte público.

Palabras clave: Discapacidad; Sillas de ruedas; Dispositivo electromecánico para silla de ruedas; Movilidad urbana.

Abstract. People with disabilities are important sector of the population that needs to mobilize in the Metropolitan Area of the Valley of Mexico, to work, attend school or carry out daily activities. The objective of the work is to design the prototype of an independent urban mobility device, adaptable to wheelchairs for everyday use. For this, was used as a method the General Model of the Design Process of the Universidad Autónoma Metropolitana, chosen for being suitable for the design and development of products. As a result, was obtained a functional prototype 1: 1 scale, with the proposal to integrate in public transport stations.

Keywords: Disability; Wheelchairs; Electromechanical wheelchair device; Urban mobility.



1. Introducción

La población con discapacidad permanente es un sector que tiene diversas clases de necesidades, como aparatos ortopédicos, atención médica y psicológica, medicamentos, terapias, y transportes adaptados, sólo por mencionar algunas.

Según datos reportados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el último censo del año 2020 en México el total de la población es de 120, 014, 024 habitantes, de este total el 16.5% (20, 838, 108) tiene al menos una discapacidad o limitación en la actividad cotidiana [1].

En relación con la distribución de la población con discapacidad, según la actividad cotidiana que no puede ser realizada, el porcentaje más alto lo tienen las personas que no pueden caminar y subir o bajar escaleras utilizando sus pies, esto es el 47.6% [1].

Considerando estas cifras de la discapacidad, se hace evidente la importancia de evaluar tanto las necesidades como las problemáticas de esta población y aportar soluciones que promuevan una mejor calidad de vida y de igualdad.

La movilidad urbana es una de estas necesidades importantes de las Personas con Discapacidad (PcD), además de ser un indicador de las condiciones sociales económicas y políticas del país [2].

El proyecto tiene como objetivo desarrollar el prototipo funcional de un dispositivo de movilidad urbana, para usuarios¹ de sillas de ruedas, que se transportan en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), para trabajar, asistir a la escuela o realizar actividades deportivas y recreativas.

Un aspecto esencial de este trabajo, fue analizar las condiciones de las personas que usan sillas de ruedas para transportarse en la ZMVM y detectar sus necesidades para aportar soluciones que ayuden a mejorar los problemas de movilidad en el entorno urbano.

Para determinar estas necesidades de los usuarios en relación con su movilidad urbana, fueron aplicadas encuestas en línea con el objetivo conocer los destinos de la movilidad, primordialmente, interesa conocer si los usuarios viajan en la ZMVM para: trabajar, estudiar, realizar alguna actividad deportiva o recreativa, además de obtener información del tiempo y distancia estimado de cada traslado.

La encuesta en línea también sirvió como medio de contacto para realizar entrevistas a los usuarios y obtener así, categorías cualitativas de necesidades que podría resolver el dispositivo de movilidad urbana.

Con base en las categorías de necesidades fue aplicado como método el *Modelo General del Proceso de Diseño* de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)[3], con el objetivo de fabricar un prototipo funcional, el cual que fue diseñado y manufacturado por la Fábrica de Sillas de Ruedas Lince S.A. de C.V.

El propósito del desarrollo de este dispositivo es incrementar la movilidad urbana de los usuarios de sillas de ruedas en la ZMVM, con la propuesta de incluirse en algunas estaciones del transporte público, como Metrobus, Mexibus, Metro y Tren ligero y mediante el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles, pueda ser prestado a los usuarios y monitoreado por los administradores de los dispositivos de movilidad.

¹ Para el proyecto las personas con discapacidad que utilizan sillas de ruedas de manera cotidiana fueron denominados como usuarios, de tal

manera, cada vez que se mencione usuarios se estará haciendo referencia a estas personas.



2. Justificación

La ZMVM está formada por 16 Alcaldías de la Ciudad de México² (CDMX), 59 Municipios Conurbados del Estado de México (MCEM) y 1 del Estado de Hidalgo, con una población que asciende los 20 892 724 de habitantes, abarca alrededor de 7 866 km² [4] y es el centro económico, financiero, político y cultural de México [5].

Según datos de la Gaceta Oficial del Distrito Federal publicada en octubre del 2014, bajo el marco del *Programa Integral de Movilidad 2013-2018* en su diagnóstico reporta que la ZMVM es:

la tercera aglomeración urbana más grande del mundo y la más grande de México, con una población aproximada de 21 millones de habitantes. En ella se concentra el 17.9% de la población nacional y se genera aproximadamente el 22.4% del Producto Interno Bruto (PIB) del país [6].

En referencia al porcentaje de residencia de la población con discapacidad por entidad federativa, el 16.4% se encuentran en el Estado de México y el 5.8% en la CDMX, ambas están dentro de las siete entidades federativas donde se concentra prácticamente la mitad de la población con discapacidad residente en el país (49.6%)[7].

Para el desarrollo de proyecto se consideró esta zona por varias circunstancias, primeramente, por la concentración de población con discapacidad, además de ser una zona complicada por su densidad poblacional, con todas las problemáticas que esto conlleva, como el transporte público insuficiente e inaccesible para PcD, la contaminación del aire, escases de

agua, inundaciones en ciertas colonias, altos índices de violencia, entre muchos más.

Cabe señalar que estas problemáticas del entorno se agravan cuando las personas tienen alguna incapacidad o limitación para realizar actividades como caminar o subir y bajar escaleras.

En mayo del 2016 la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), emitió un documento titulado *Diagnóstico sobre la situación de las personas con discapacidad en México* [8], en donde se reportaba lo siguiente:

- El Consejo Nacional para la Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) indicó que el 54.1% de las personas con discapacidad se encontraban en **condición de pobreza** en 2014, cifra superior a la tasa de prevalencia de la pobreza a nivel nacional (46.2%).
- Las personas con discapacidad presentaron tasas de prevalencia superiores a los resultados nacionales en carencia por **rezago educativo** (51.1% contra 18.7%), carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda (24.6% contra 21.2%) y carencia de acceso a la alimentación (31.1% contra 23.4%); mientras que presentaron menor incidencia por carencia por acceso a los servicios de salud (16.4% contra 18.2%), carencia por acceso a la seguridad social (42.9% contra 58.5%) y carencia por calidad y espacio de la vivienda (10.7% contra 12.3%).
- De acuerdo con la Encuesta Nacional sobre la Discriminación en México (ENADIS) realizada en el 2010, las principales menciones de problemas que enfrentan son el **desempleo** (27.5%), la **discriminación** (20.4%) y el **no poder ser autosuficientes** (15.7%), en menor proporción la falta de apoyo gubernamental,

² A partir de febrero del 2016 el Diario Oficial de la Federación (DOF) publica el Acuerdo General del Pleno del Consejo de la Judicatura Federal para cambiar la denominación de Distrito Federal por Ciudad de México

en todo su cuerpo normativo de la Federación. En algunos casos se citarán datos que corresponde al Distrito Federal, pero es por que en el año de la publicación no había realizado ese cambio, sin embargo, se debe entender que la referencia a Distrito Federal es la misma que Ciudad de México (CDMX).



salud, *problemas de movilidad*, respeto a sus derechos e inseguridad.

- En relación a las barreras que enfrentan para poder desarrollar plenamente sus derechos sociales y humanos se encuentran las vinculadas a la *participación en el mercado de trabajo* y con ello, la obtención de ingresos para satisfacer sus necesidades. Esto se deriva en gran parte por un *acceso deficiente a la educación*, aspecto que debilita la obtención de mayores niveles educativos y dificulta integrarse en los mercados laborales que demandan mayor preparación y especialización.
- En promedio los hogares en donde algún familiar tiene alguna discapacidad, *gastan mensualmente* más en rubros de medicamentos, atención hospitalaria y salud que los hogares sin familiares con discapacidad.
- El efecto derivado de los problemas en México, es el bajo desarrollo humano para una *vida independiente*. Esta situación, se traduce en una dependencia hacia los núcleos familiares, lo que finalmente crea barreras físicas, sociales y económicas que les excluyen de una sociedad igualitaria.
- Las personas con discapacidad pueden *no insertarse en el mercado de trabajo* por varias razones. En primera instancia, encontramos que el salario al cual están dispuestas a tomar un empleo puede ser más alto, debido a que tienen que enfrentar una serie de obstáculos como la carencia de infraestructura que garantice su *accesibilidad en el sistema de transporte* y en el lugar de trabajo, entre otros; además de los costos asociados a la propia búsqueda de trabajo.

Los puntos de este diagnóstico realizado por la SEDESOL, por un lado, hacen evidentes los problemas y condiciones adversas de la población discapacitada, pero otro, pueden ser percibidos como áreas de oportunidad para el desarrollo de proyectos tecnológicos que aporten recursos para solucionar estas necesidades.

3. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo fue utilizada la metodología de la investigación tecnológica, la cual está definida como un proceso complejo que integra la lógica de la invención, el diseño y la innovación [9].

Bajo el marco metodológico de la investigación tecnológica, cuya finalidad es modificar la realidad mediante la investigación y la transformación, fue utilizado el *Modelo General del Proceso de Diseño* UAM (Figura 1), con el objetivo de diseñar y fabricar el prototipo de un dispositivo adaptable a sillas de ruedas de uso cotidiano, para incrementar la movilidad urbana de los usuarios en la ZMVM.

El modelo consta de cinco etapas: 1) caso de estudio, 2) definición del problema, 3) hipótesis alternativas de solución, 4) desarrollo del proyecto y 5) realización.



Figura 1. Modelo General del Procesos de Diseño UAM integrado en el marco de la Metodología de la investigación.

3.1 Caso de estudio

El proyecto consideró como caso de estudio a personas que utilizan de manera cotidiana sillas de ruedas para transportarse en la ZMVM, para realizar actividades habituales como asistir al trabajo, a la escuela o bien actividades deportivas y recreativas.

En la primera y segunda etapa del modelo UAM, fue hecha la revisión bibliográfica y de datos estadísticos para conocer algunas de las condiciones de las PcD, parte de estos aspectos ya fueron mencionados en la justificación, sin embargo, para este trabajo era importante detectar específicamente aspectos relacionados con la movilidad urbana y las necesidades los usuarios.

Para ello, fue elaborado un cuestionario de aplicación en línea y con el apoyo de la Fábrica de sillas de ruedas Lince S.A. de C.V. se logró contactar a 400 personas que utilizan sillas de ruedas para realizar actividades cotidianas.

A este grupo de personas, les fue enviado el cuestionario y la autorización de consentimiento de participación, así como el aviso de confidencialidad y resguardo de la información. El objetivo del cuestionario fue obtener un diagnóstico de las PcD en relación con las siguientes categorías:

1. Datos generales.
2. Discapacidad y grado de movilidad corporal.
3. Movilidad urbana y tipo de actividad.
4. Transporte público y entorno urbano.
5. Gastos en relación a la discapacidad.

En el primer apartado de datos generales, fue solicitada la edad, sexo, estado civil, lugar de residencia, tipo de actividad realizada, número de años con la discapacidad y datos antropométricos como estatura y peso, con la intención de obtener el perfil socioeconómico.

Para el segundo punto fue importante conocer el grado de movilidad corporal del usuario, ya que esto indica la condición de independencia de la PcD. Si el usuario tiene movilidad en tórax y miembros superiores como brazos, hombros, manos y cabeza, se puede inferir que su movilidad es de nivel medio-alto, lo cual denota que la persona tiene mayor oportunidad de transportarse en la ZMVM solo o con ayuda mínima.

El siguiente rubro de movilidad urbana y tipo de actividad esta relacionada con las labores que realizan los usuarios para lo cual necesitan transportarse, ya sea para ir al trabajo, la escuela o bien para actividades familiares o recreativas.

En el tercer apartado las preguntas del cuestionario son concernientes a dos aspectos, uno es el tipo de transporte público utilizado por los usuarios dentro de la ZMVM y el otro es acerca de las condiciones del entorno, como son la vías primarias y secundarias. La intención en



este punto es detectar algunas barreras del entorno con las que se encuentran los usuarios.

Para el último punto del cuestionario era importante conocer algunos aspectos económicos, principalmente los gastos relacionados con la discapacidad, como son terapias, medicamentos, ayudas técnicas, gastos médicos y de transporte.

En cuanto al número de cuestionarios respondidos, se obtuvo la participación de 80 personas, de los cuales fueron elegidos 57 para ser analizados, debido a que cumplían con dos aspectos esenciales: residencia dentro de la ZMVM y grado de movilidad corporal medio-alto.

Cabe mencionar que el instrumento no se encuentra validado, sin embargo, la información recabada fue de gran importancia para el diseño del dispositivo.

3.2 Definición del problema

Las problemáticas a las que se enfrentan las personas que utilizan sillas de ruedas, son de diversa índole; se tienen problemáticas personales ocasionadas por el tipo de lesión o discapacidad, que afecta el grado de movilidad corporal y con ello la capacidad de transportarse de manera independiente.

Existen también problemáticas relacionadas con el entorno, como es la falta de rampas, acceso inadecuado en edificios, baños, escuelas, salas de concierto, cines, además de pavimentos en mal estado, con baches, topes y banquetas invadidas por el comercio informal.

El acceso al transporte público es otra problemática del entorno ya que la mayoría no tiene elementos adaptados para que una persona en silla de ruedas pueda utilizarlo de manera independiente. Generalmente los autobuses urbanos y colectivos son inaccesibles para usuarios de sillas de ruedas.

El transporte público con más adaptaciones para personas con discapacidad es el sistema de Autobús de Tránsito Rápido (BRT, Bus Rapid Transit). Este sistema fue desarrollado con el objetivo satisfacer necesidades de transporte de los usuarios, ofreciendo mayor calidad y mayor accesibilidad [10].

Entre estos elementos de accesibilidad [11] están las rampas que se encuentran en la entrada de cada estación, botones de aviso al operador del autobús para indicar que subirá una persona con discapacidad y así el autobús pueda acercarse más a la plataforma para reducir el espacio entre el autobús y el piso de la estación (Figura 2).

Estos elementos de accesibilidad del BRT resuelven algunas problemáticas importantes, sin embargo, en el interior del autobús los usuarios se enfrentan a problemas relacionados con la falta de respeto a los espacios destinados para las PcD, ya que las personas que utilizan también el transporte público ocupan estos lugares.



Figura 2. Botón de aviso al conductor para indicar que subirá un usuario en silla de ruedas o con alguna discapacidad. De esta manera el conductor estará enterado de la situación y acercará más la unidad para reducir la distancia entre el piso del autobús y la plataforma de la estación.

Otro problema relacionado con el viaje en el BRT, es la saturación de personas, ya que, en horas de mayor afluencia no es posible abordar con silla de ruedas y es necesario esperar varios autobuses con menor cantidad de gente para poder entrar.

3.3 Hipótesis alternativas de solución.

Para el Modelo General de Diseño UAM, las hipótesis alternativas de solución son propuestas de diseño que pueden satisfacer la necesidad y para ello, necesitan ser evaluadas con la finalidad de seleccionar la más adecuada.

Considerando las problemáticas y las necesidades de movilidad urbana de los usuarios y las características tanto del transporte urbano como las condiciones desfavorables de las vialidades primarias y secundarias de la ZMVM, fue planteada una matriz de decisión, con varias alternativas que podrían ayudar a resolver la problemática.

A continuación, se presenta la Tabla 1 con estas propuestas de solución, que en el Modelo UAM son denominadas hipótesis alternativas de solución.

Tabla 1. Matriz de propuestas de solución a las problemáticas de movilidad urbana en usuarios de sillas de ruedas.

Propuesta	Necesidad 			
	Accesible	Banquetas, topes y baches	Aumentar movilidad	Económico
1. Automóvil adaptado	✗	✓	✓	✗
2. Automóvil diseño exclusivo	✓	✓	✓	✗
3. Transportes públicos adaptados	✗	✓	✓	✓
4. Dispositivo adaptable a la silla de ruedas	✓	✓	✓	✓



El automóvil adaptado fue la **primera** alternativa considerada, debido a que un vehículo modificado con rampas para el ingreso del usuario con silla de ruedas y con adaptaciones al volante para el manejo, resulta ser una solución adecuada para una persona que necesita transportarse distancias mayores a 1 kilómetro y con la necesidad de llevar su silla de ruedas.

Sin embargo, esta alternativa no fue seleccionada ya que el costo de adquirir el vehículo, realizar las modificaciones y proporcionar el mantenimiento, hace que esta opción en la parte económica sea demasiado elevada.

El aspecto económico es un tema importante ya que, como se mencionó, un porcentaje significativo de la población con discapacidad no tienen empleo fijo o ingresos que cubran en su totalidad gastos personales y familiares.

La **segunda** alternativa fue analizada principalmente como un objeto nuevo, en el que se tuviera completa libertad de diseño para resolver las problemáticas, no obstante, el tema económico continuaba siendo la limitante pues el diseño de un automóvil, ya sea con motor de combustión interna o eléctrico, resulta ser elevado.

Como ejemplo de este tipo de vehículos se encuentra el Elbee, que fue diseñado y fabricado la empresa Elbee Mobility [12] de República Checa. Elbee es un automóvil muy pequeño (2.47 m de largo x 1.33 m de ancho y 1.72 m de alto), el cual está habilitado con un mecanismo de acceso por la parte delantera, que despliega una rampa para tener acceso con la silla de ruedas.

De esta forma el usuario puede acceder fácil y cómodamente, además al ingresar de esta manera y al cerrar la rampa, los controles se colocan al frente de la persona para que pueda conducir.

Este producto es comercializado en algunos países de Europa como Francia, Italia, Inglaterra y República Checa. En cuanto al costo de este vehículo, en la publicación online del noticiero ERONEWS de septiembre del año 2014, el costo del automóvil era de 15 000 euros.

Reflexionando acerca de este factor económico, la **tercer** alternativa discutida y evaluada, fue sugerir transportes públicos adaptados para la discapacidad y con diversas rutas, en las que pudieran ser abordadas por usuarios de sillas de ruedas o con otro tipo de discapacidad. Esto con la intención, por un lado, de economizar en cada traslado y por otro, apoyarse de experiencias realizadas en otros países en relación al transporte urbano y la discapacidad.

Una de estas experiencias revisadas fue la situación del vehículo llamado *auto-rickshaw* (Figura 3), que es utilizado en la provincia de Sind en Pakistán tanto para el transporte de personas adultas con alguna discapacidad o deficiencia física y niños con discapacidad, con la intención de promover su asistencia a la escuela.

Los *auto-rickshaws* son una opción de transporte motorizado de tres ruedas, habitualmente utilizado ya sea por una persona o por un grupo de pasajeros a la vez. Debido a la carencia de transporte público accesible, las personas con deficiencias físicas recurren a estos vehículos porque tienen un piso bajo y pueden llevar una silla de ruedas plegada y un acompañante [13].

En esta misma provincia de Pakistán, también han sido propuestos vehículos individuales para facilitar el transporte de personas que no pueden caminar por alguna discapacidad y que necesitan asistir al trabajo o a la escuela.



Figura 3. Auto Rickshaw utilizado en la provincia de Sind en Pakistán, para el transporte de personas con discapacidad. Imagen con permiso de reproducción sin fines de lucro, tomada de: ACCES EXCHANGE INTERNATIONAL, (2018).

Tomando en cuenta la necesidad particular de la población en esta región, han sido fabricados triciclos (Figura 4) con el principio básico de una bicicleta para ser autopropulsado con las manos y los brazos.

Sin embargo, se ha reportado que estos triciclos no son del todo eficientes ya que tienen problemas de diseño que dificultan el desempeño óptimo[13]. No obstante, esta opción continúa desarrollándose porque es calificada como viable para la población de esta región.

del entorno y las anteriores propuestas, se formula la **cuarta** hipótesis alternativa de solución. La alternativa consiste en el desarrollo de un dispositivo adaptable a la silla de ruedas, con la capacidad de movilizar al usuario en el entorno urbano, considerando el peso del usuario y las condiciones de las vialidades primarias y secundarias.

El dispositivo fue planteado para ser de fácil acoplamiento y compatible con la mayoría de las sillas de ruedas de uso cotidiano.



Figura 4. Triciclo diseñado y fabricado en la provincia de Sind en Pakistán, utilizado por personas que tienen dificultad en los miembros inferiores y que tienen la necesidad de asistir al trabajo o a la escuela. Imagen con permiso de reproducción sin fines de lucro, tomada de: ACCES EXCHANGE INTERNATIONAL, (2018).

Ahora bien, reconociendo y analizando la complejidad de las necesidades de movilidad urbana de las PcD, además de las problemáticas

En este aspecto es necesario señalar y hacer énfasis en esta característica del dispositivo, ya que no está contemplado el acoplamiento a sillas



de ruedas ortopédicas, debido a que éstas son diseñadas y fabricadas exclusivamente para traslados en distancias cortas, por ello son muy útiles en hospitales y centros médicos. Este tipo de sillas no tienen la suficiente rigidez estructural para poder ser utilizadas en el pavimento de las calles, sin embargo, por economía o desconocimiento muchas PcD las utilizan como silla de ruedas de uso cotidiano.

Para movilizar al usuario con la silla de ruedas, el dispositivo está provisto de un sistema mecánico estrella-cadena articulado al mecanismo de dirección, con ello, la persona puede auto-propulsarse utilizando la fuerza de sus brazos y manos, además posibilita el control de la dirección por medio de un manubrio integrado.

Reconociendo que no todos los usuarios tienen la fortaleza o capacidad de autopropulsión, el dispositivo incluye un motor eléctrico conectado a una batería para asistir al usuario durante el viaje en el momento deseado. En caso de no ser requerido el sistema eléctrico, el dispositivo acoplado a la silla podrá ser manipulado de forma manual.

Esta última alternativa fue considerada óptima ya que, por un lado, es un sistema individual e independiente, y por otro, el dispositivo podría instalarse en estaciones de transporte BTR y ser utilizado por los usuarios de sillas de ruedas para trasladarse en las calles de colonias aledañas o inclusive utilizar el dispositivo para viajar de una estación a otra en horarios de saturación de los autobuses.

Con base en la premisa del dispositivo independiente y la inserción en el transporte público, se pretende incrementar la movilidad de los usuarios de sillas de ruedas en la ZMVM.

Debido a la complejidad de esta alternativa, será necesario establecer etapas de desarrollo y además solicitar apoyo de tres principales actores

de la sociedad: la **universidad**, la **iniciativa privada** y el sector **gobierno**. Lo anterior con la intención de tener soluciones desde las posibilidades y experiencias de cada sector, para resolver problemáticas complejas de movilidad urbana.

3.4 Desarrollo del proyecto.

La primera etapa consistió en diseñar y fabricar un prototipo de acoplamiento a la silla de ruedas, que, por un lado, incrementara la movilidad del usuario de una manera independiente y por otro, fuera económicamente accesible a la población con discapacidad mediante la inclusión del dispositivo en las estaciones del Metrobus y Mexibus.

La segunda etapa está proyectada en desarrollar los elementos necesarios para la inclusión del dispositivo de movilidad en las estaciones del transporte público. Para ello, se propone que el dispositivo sea colocado en las estaciones BRT y ser prestado a los usuarios de sillas de ruedas para que puedan desplazarse en las calles aledañas o bien transportarse algunas estaciones, evitando así los problemas de subir al autobús en horas de mayor saturación, en donde hay mucha gente y no hay espacio para poder subir con la silla de ruedas.

Cabe señalar que, para el caso de este documento, será presentada la primera etapa del proyecto, en conjunto con el planteamiento para el funcionamiento de la segunda.

Para el desarrollo del proyecto fue necesario definir tanto los aspectos de forma del dispositivo, como los de funcionamiento e integrarlos, de la tal manera que pudieran acoplarse a la estructura la silla de ruedas y así poder ser utilizado por el usuario.

El dispositivo de movilidad urbana (Figura 5) consiste en un sistema híbrido (mecánico-eléctrico) que ayudará al desplazamiento del



usuario de dos maneras: 1) autopropulsado y 2) por medio de un motor eléctrico.

Para el sistema eléctrico, fue necesario utilizar una batería de Litio que suministrara la carga eléctrica tanto al motor como a los controladores.

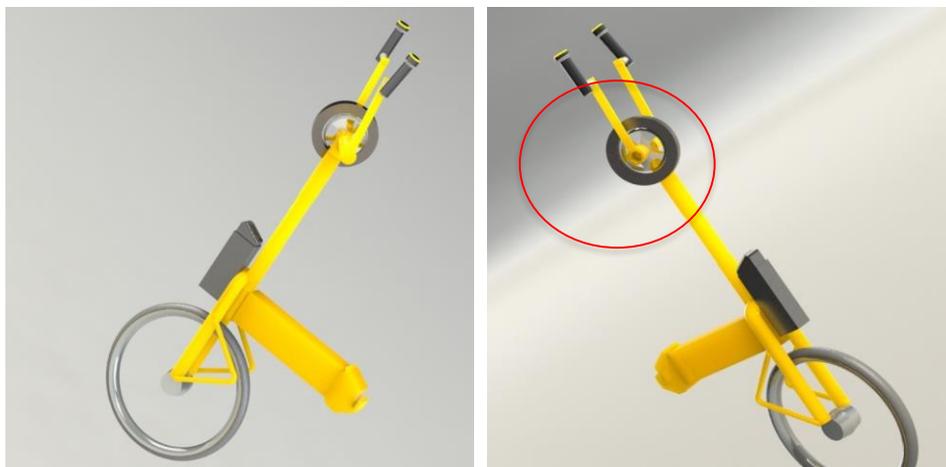


Figura 5. Propuesta de dispositivo híbrido (mecánico-eléctrico) para la movilidad de personas con discapacidad que utilizan sillas de ruedas de forma cotidiana.

Para la autopropulsión, el dispositivo incluye un mecanismo de estrella-cadena para la transmisión de movimiento, que se conecta directamente a una rueda neumática de 16 pulgadas de diámetro y a un manubrio para que el usuario pueda sujetarlo y mediante la fuerza de los músculos de los miembros superiores como brazos, antebrazos, espalda y abdomen, el usuario pueda moverse empleando menor cantidad de fuerza y con mejor control de manejo.

Este modo de autopropulsión posibilita al usuario para realizar actividad física durante el desplazamiento; esta propuesta fue incluida debido a que una persona en silla de ruedas tiene mayores probabilidades de presentar obesidad debido a la poca movilidad [14] y a una alimentación inadecuada [15].

Como segunda modalidad, el dispositivo esta provisto de un motor eléctrico en el eje de la rueda neumática y conectado a controladores electrónicos para manipular las Revoluciones Por Minuto (RPM) y así acelerar o frenar el dispositivo.

Este tipo de batería fue seleccionada principalmente por que el Litio es un metal altamente electropositivo, que produce celdas de alto voltaje[16]. Debido a estas características la batería del dispositivo tiene la autonomía de viaje entre 20 y 25 kilómetros; en esta distancia el usuario podrá desplazarse utilizando únicamente el sistema eléctrico.

Otro factor considerado en la opción de uso con motor eléctrico para el desplazamiento, fue tener en cuenta que el usuario podría quedarse sin carga en la batería, ya sea por actividad o por falta de suministros eléctricos, sin embargo, esto no sería un motivo para que no funcionara el dispositivo, ya que puede utilizar el sistema de **autopropulsión**.

Estas dos opciones del dispositivo, son alternativas elegibles para el usuario, siempre y cuando los niveles de carga eléctrica de la batería se encuentren en rangos de funcionamiento. Aunque el usuario también podría elegir realizar parte del viaje combinando las dos formas.



Para la estructura del dispositivo fue seleccionada la aleación 6061-T6; este material es una aleación no ferrosa, elaborada principalmente a base de aluminio y adicionada con silicio 0.4-0.8%, cromo 0.04-0.35%, magnesio 0.8-1.2% y cobre 0.15-0.4%. Tiene buenas propiedades mecánicas, excelente maquinabilidad, resistente a la corrosión, su densidad es 2.7 gm/cc y su valor de dureza en escala Brinell es de 95BHN [17].

Esta aleación 6061-T6 llamada comercialmente como **Duraluminio**, es utilizada en diversas aplicaciones como automóviles, edificios, muebles, tuberías y estructuras [18]. La condición T6 indica un tratamiento térmico que produce un valor máximo de 310 MPa de **Esfuerzo Último a la Tensión** (Ultimate Tensile Strength, UTS) y un valor de 276 MPa como **Límite de Fluencia en Tensión** (Yield Tensile Strength, YTS) [19].

En cuanto al sistema de acoplamiento a la silla de ruedas, éste fue habilitado con mecanismos de trinquete para garantizar la facilidad del ensamble y minimizar así la posibilidad de falla. La contraparte del mecanismo de trinquete, es colocado en la estructura de la silla de ruedas de tal forma que sujeción sea realizada en la parte frontal, para permitir al usuario una mejor manipulación y acoplamiento.

Es importante señalar que el sistema de anclaje es una parte crítica del diseño ya que debe soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos generados tanto por el propio peso del usuario, como los producidos por las condiciones del pavimento cuando se desplaza el usuario en el dispositivo de movilidad urbana.

Debido a estas condiciones el mecanismo ha sido reforzado estructuralmente y además el trinquete, al ser un sistema de acoplamiento sencillo reduce las posibilidades de falla.

Cuando el usuario quiera desacoplar el dispositivo de movilidad, lo podrá realizar liberando el trinquete por medio de una palanca y resortes, de tal forma que se facilite también la liberación de este mecanismo y así no provoque complicaciones de uso.

3.5 Realización

Para la fabricación del prototipo físico fueron realizados dibujos y bocetos de la propuesta de diseño, con la intención de comunicar ideas de forma, funcionamiento y dimensiones.

Una vez definido el diseño general y los mecanismos, se procedió a utilizar el software Inventor Profesional de Autodesk versión 2019 (Licencia Educativa), para modelar el prototipo con sus ensambles y sub ensambles (Figura 6).

Con este mismo software de Autodesk, se realizaron animaciones de los mecanismos y ensambles, para verificar ajustes, acoplamientos e intersecciones, además se elaboraron los planos generales y de detalle, necesarios para el proceso de fabricación (Figura 7). Para ello fue necesario definir algunos parámetros como la potencia del motor, RPM, corriente y voltaje de alimentación.

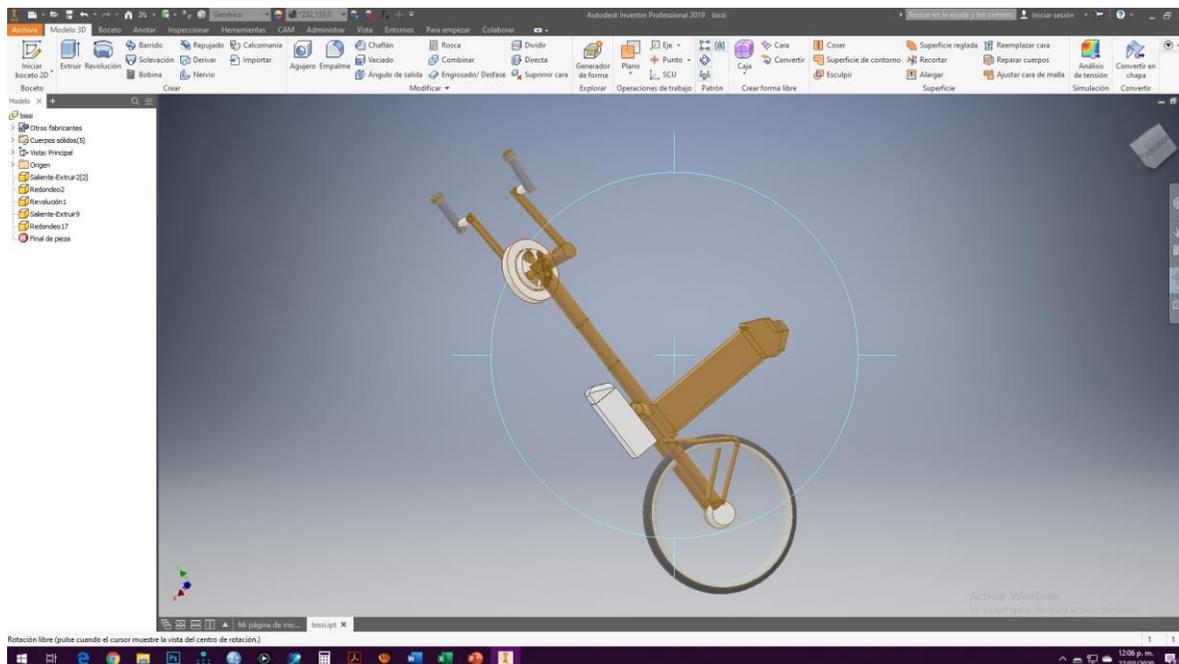


Figura 6. Modelo virtual elaborado para la fabricación del prototipo.

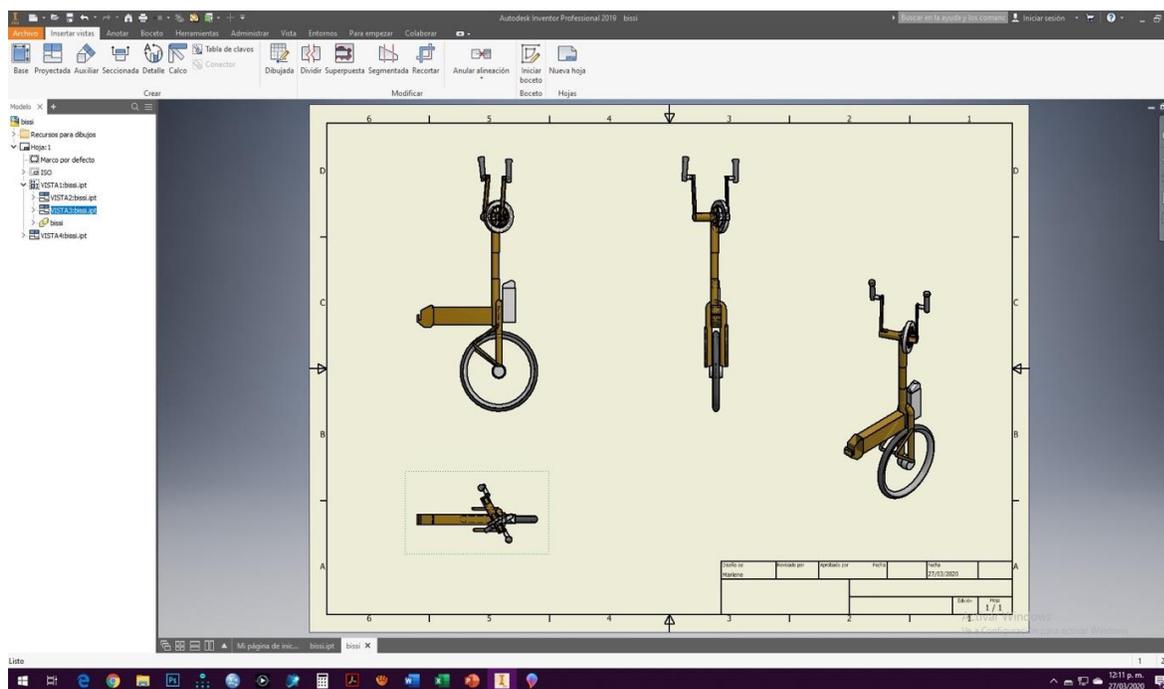


Figura 7. Planos generales y de detalle del dispositivo de movilidad urbana para usuarios de sillas de ruedas.

Otro aspecto importante de la fabricación, fue realizar algunos cálculos para el diseño del prototipo, los cuales fueron centrados en dos

aspectos importantes: la transmisión del movimiento y la resistencia de la estructura.



En cuanto a la estructura, el cálculo fue centrado en los esfuerzos normales, cortantes, de torsión y deformaciones, considerando algunas variables como el peso del usuario, cargas dinámicas y estáticas debidas a las condiciones del terreno y la velocidad del vehículo.

Una vez determinados los materiales a emplear y en conjunto con los parámetros de diseño, fueron definidos los siguientes procesos de manufactura necesarios para fabricar el prototipo. En la Figura 8 se muestra el diagrama de los procesos y la continuidad de producción, iniciando con la solicitud de materiales y terminando con la revisión final del prototipo.

La manufactura del prototipo fue realizada por la fábrica de sillas de ruedas Industrias Lince por ROE-MEX S.A. de C.V. Esta empresa mexicana fue fundada hace 30 años con la intención de producir en México sillas de ruedas deportivas y solucionar algunas de las problemáticas relacionadas con la discapacidad motriz. Con el paso del tiempo y la adquisición de

sillas de ruedas de uso cotidiano y otras ayudas técnicas como bastones, andaderas, adaptaciones para la conducción de automóviles, entre otros.

Cabe mencionar que la empresa cuenta con el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT); este registro es una base de datos y una plataforma informática que contiene la información sobre las empresas, instituciones y personas físicas con actividad empresarial, mediante el cual es posible solicitar apoyos en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para realizar proyectos de investigación tecnológica.

Con base en la experiencia de la empresa y con el trabajo de investigación desarrollado, fue fabricado el primer prototipo, el cual se muestra en la Figura 9.

Además de los elementos expuestos en párrafos anteriores, este prototipo incluye dos soportes en los costados, con la intención de permitir que el dispositivo se encuentre estable y firme cuando

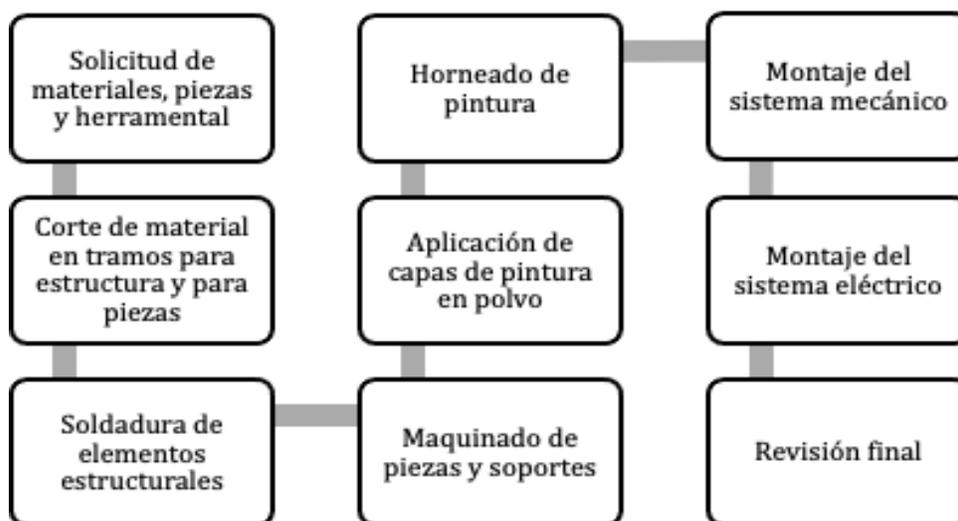


Figura 8. Procesos de manufactura necesarios para la fabricación del prototipo.

experiencia en la fabricación de este producto y en las necesidades de la población con discapacidad, se comienzan a diseñar y fabricar

no esta en uso, facilitando así el acoplamiento (figura 10) en el momento del iniciar el uso o



también para desacoplarse, cuando se quiera dejar de usar.



Figura 9. Prototipo del dispositivo de movilidad urbana para usuarios de sillas de ruedas. **Fuente:** Imagen proporcionada y reproducida con autorización de Industrias Lince S.A. de C.V

De tal forma que estos soportes apoyen al usuario para manipular mejor los mecanismos de anclaje y así asegurar la unión entre la silla de ruedas y el dispositivo.

3.5.1 Señalamientos de vialidad y sistemas de seguridad.

Debido a que el dispositivo circulará principalmente por vialidades primarias y secundarias, es necesario que sea visible tanto para los vehículos como para los peatones, para ello se consideró integrar señales auditivas y visuales.

Para las auditivas fue adaptado un claxon, con el objetivo de alertar o avisar de su circulación a su alrededor; para las señales visuales fueron colocados en la silla de ruedas y en el dispositivo, viniles adhesivos reflejantes en lugares que

fueran visibles y que además tuvieran movimiento, ya que se ha encontrado que las ayudas visuales en movimiento pueden aumentar la capacidad de los conductores para detectar a ciclistas por la noche [20].

En la parte frontal del dispositivo fue instalada



Figura 10. Prototipo del dispositivo de movilidad urbana acoplado a una silla de ruedas de uso cotidiano. **Fuente:** Imagen proporcionada y reproducida con autorización de Industrias Lince S.A. de C.V.

una lámpara con dos funciones principales: 1) iluminar el camino en caso de no tener buen alumbrado artificial y 2) funcionar como señalamiento visual para ser observado cuando el dispositivo circula en las vialidades primarias y secundarias. Esta lámpara está conectada a la llave de encendido, para que de manera automática funcione al utilizar el dispositivo.

Como otro elemento de visibilidad para los vehículos y peatones, se integra un banderín de 1.5 metros de longitud, para que pueda ser identificado a varios metros de distancia, sin importar que se encuentre en un nivel más bajo que un automóvil.

Otro componente de seguridad para el usuario, es el cinturón de seguridad, el cual está unido a la estructura de la silla de ruedas y sujetará a la persona a la altura de la cintura, sin embargo,



dependiendo del tipo de lesión posiblemente será necesario también considerar sujetar las piernas, debido a que se viajará a velocidades entre los 5 y los 30 km es importante asegurar las extremidades inferiores.

3.5.2 Propuesta de integración del prototipo en estaciones del Metrobus y Mexibus

Debido a que el propósito de este proyecto es incrementar la movilidad urbana en personas discapacitadas que usan sillas de ruedas, la propuesta a continuar desarrollando es colocar los dispositivos en las estaciones de Metrobus y Mexibus, para que los usuarios puedan hacer uso de ellos y trasladarse mayor distancia, ya que utilizarían el transporte público en los trayectos más largos y para moverse en las calles emplear el dispositivo de movilidad urbana.

De manera inicial se propone colocar los dispositivos en las estaciones de Metrobus (Figura 11), debido a que tienen más elementos de accesibilidad a usuarios de sillas de ruedas, como rampas con la pendiente adecuada, señalización, lugares específicos para la silla y puertas amplias para el ascenso y descenso.

Dentro de la planeación arquitectónica de la red vial del Metrobus, fueron contempladas las estaciones con espacios amplios para la circulación peatonal y áreas verdes. Tomando estas características y las de accesibilidad, los dispositivos de movilidad urbana podrían colocarse en estos espacios, posiblemente en algunas estaciones será necesario hacer modificaciones, pero serán mínimas.

El lugar destinado para colocar los dispositivos debe tener una estructura, que puede ser metálica, para que el dispositivo permanezca hasta que el usuario llegue y haga uso de él, también habilitado con suministro de corriente eléctrica para que la batería pueda recargarse.

3.5.3 Sistemas digitales para el uso de los dispositivos de movilidad urbana

Además de las modificaciones en las estaciones del Metrobus, también será necesario desarrollar sistemas digitales que controlen el préstamo y tiempo de uso de los dispositivos de movilidad urbana. Para ello, se propone diseñar una **aplicación digital** (app) para instalarse en dispositivos móviles que tengan conexión a



Figura 11. Vistas esquemáticas del dispositivo en la estación del Metrobus. **Fuente:** Imágenes tomadas y modificadas por Tadeo Morales Zamora.



internet como teléfonos celulares y tabletas digitales.

Para poder descargar la aplicación digital será necesario introducir datos generales, como nombre completo, clave de INE, edad, género, correo electrónico, domicilio, tipo de la lesión, tiempo con la lesión y parámetros biométricos como huella digital y reconocimiento facial (Figura 12). La app estará disponible para sistemas iOS y Android y podrá descargarse de manera gratuita en las tiendas de *Playstore* y *App Store*.

Al ingresar a la aplicación aparecerá la pantalla de inicio, en ella aparecerá la imagen del dispositivo de movilidad, logotipos de la empresa, Metrobus, gobierno de la ciudad, del estado de México y un botón que habilitará la cámara del teléfono para escanear el Código QR (Código de Respuesta Rápida, Quick Response), el cual enlazará los datos del dispositivo como número de serie, nivel de carga de la batería,

fecha y hora de la última revisión por parte del personal de mantenimiento (Figura 13).

En esa misma pantalla estará ubicado un botón para activar el uso del dispositivo de movilidad, el cual se hará por medio de contraseña, identificación de huella o reconocimiento facial.

Estas opciones estarán habilitadas dependiendo del tipo de teléfono del usuario, si este tiene los medios digitales como lector de huella y cámara frontal podrá tener acceso a esas opciones, en caso de no ser así, con ingresar la contraseña alfanumérica establecida en la descarga de la aplicación, podrá usarse el dispositivo de movilidad.

Por medio de la activación se realizará el desbloqueo del dispositivo de movilidad y automáticamente se liberará un seguro del motor eléctrico y de todo el sistema.

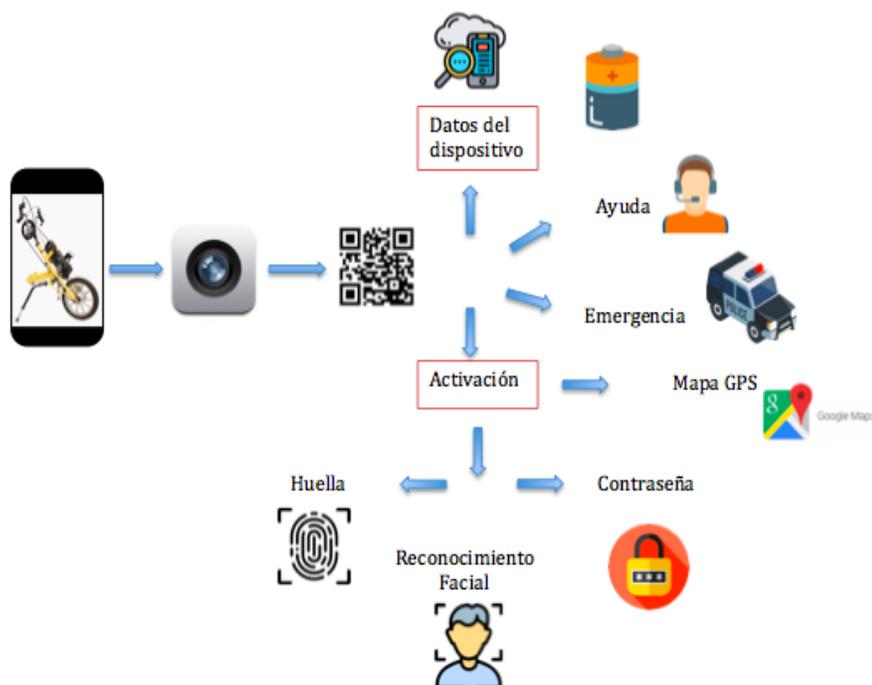


Figura 12. Descripción de las funciones de la aplicación del Dispositivo de Movilidad urbana. Fuente: elaboración propia.

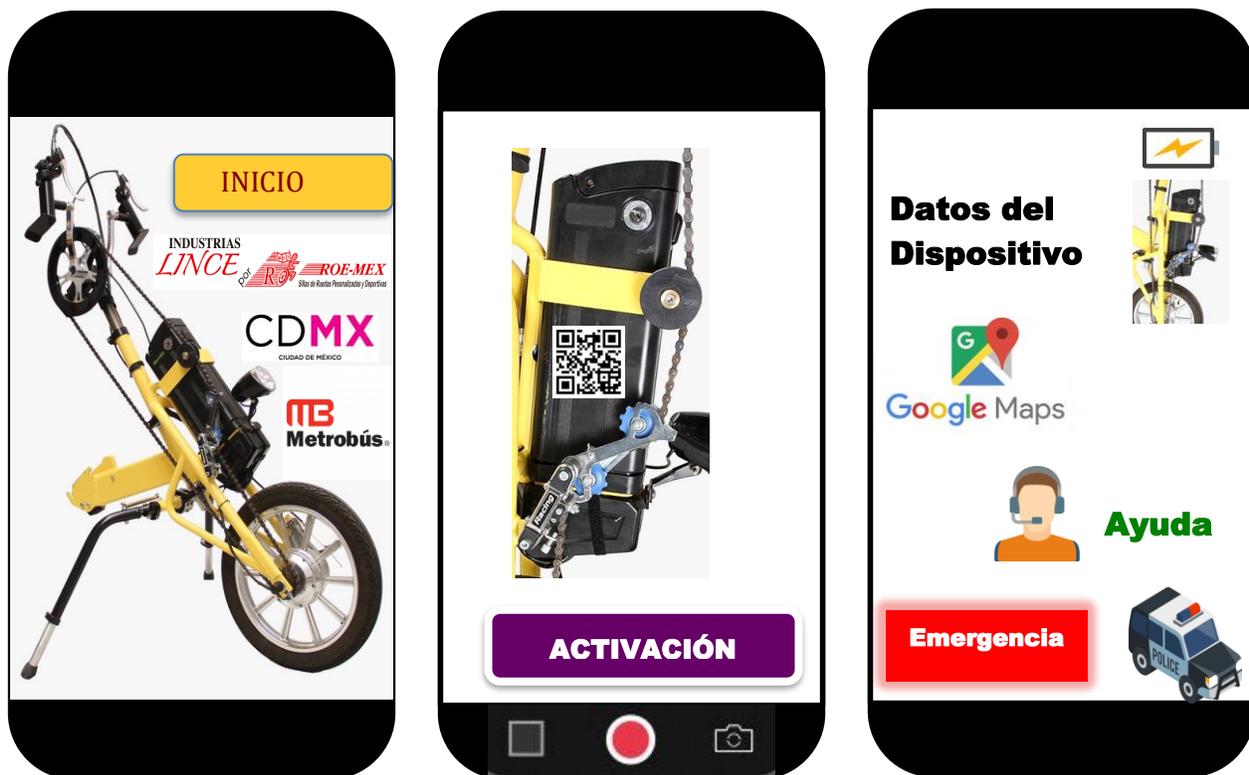


Figura 13. Pantallas propuestas para la aplicación del dispositivo de movilidad urbana. **Fuente:** Imagen de elaboración propia; los logotipos de la Ciudad de México, Metrobus fueron tomados de las páginas oficiales y son de uso ilustrativo. El logotipo de la empresa Industrias Lince e imágenes con autorización previa.

Además, se activará un rastreador GPS (Sistema de Posicionamiento Global, *Global Positioning System*) con la finalidad de proporcionar información de las rutas del dispositivo y su ubicación. Cabe mencionar que actualmente estos dispositivos son comerciales y pueden comprarse en tiendas de electrónica o por internet.

La intención de colocar el rastreador GPS es, por un lado, tener información de la ubicación en tiempo real del dispositivo y por otro, realizar un mapeo de rutas a detalle en donde los actuales sistemas de localización no han tenido acceso por cuestiones satelitales o bien por ser lugares pequeños como callejones, calles cerradas o pequeñas, edificios o túneles. Además, esto aportaría información para extender redes comerciales o de negocios, que pueden

publicarse en redes sociales o en aplicaciones de mapas.

La pantalla de activación también tendrá un ícono que enlazará la aplicación de *Google Maps*, en caso que el usuario busque alguna dirección y quiera saber las rutas o vialidades por donde podrá circular con el dispositivo movilidad urbana.

La app también estará habilitada con un cronómetro, que iniciará su conteo al momento de activar el sistema y permitirá al usuario utilizar el dispositivo por dos horas, en caso de necesitar más tiempo se podrá extender éste hasta por 2 periodos más, de 30 minutos cada uno.

Ahora bien, en caso de necesitar ayuda o auxilio por algún accidente, percance o fallas en el dispositivo, la aplicación también estará vinculada con dos íconos, uno de Ayuda y otro



de Emergencia. El ícono de ayuda será utilizado para reportar alguna avería ya sea mecánica, eléctrica o por *ponchadura* de llanta; de esta forma se enviará la alerta y a la ubicación del dispositivo, a la estación de *Metrobus* más cercana para que personal de mantenimiento pueda atender el problema.

El ícono de emergencia instalado en la aplicación del dispositivo de movilidad, estará enlazado a las aplicaciones de seguridad tanto del Gobierno de la Ciudad de México (CDMX), como del Estado de México; éstas emiten alertas a centrales de policía y a elementos de seguridad pública, para que la respuesta sea pronta ante la situación de urgencia.

Mediante la aplicación también será posible visualizar parámetros propios del dispositivo de movilidad, como la velocidad de viaje, distancia recorrida, tiempo de uso y nivel de carga de batería.

Cada uno de estos parámetros enviará mensajes de alerta, por ejemplo, si esta alcanzado el nivel máximo de velocidad o bien si el nivel de carga de la batería es bajo y necesita conectarse a la corriente eléctrica.

La app del dispositivo de movilidad urbana ha sido propuesta con la premisa, que la mayoría de usuarios tiene acceso a teléfonos celulares y como mínimo tienen cámara y acceso a internet,

sin embargo, para garantizar la accesibilidad a este medio de transporte, también se ha planeado el uso de tarjetas digitales, similares a las utilizadas por el Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC).

Para la opción de tarjeta será necesario registrarse en línea previamente y llenar la solicitud con los datos mencionados; al finalizar el registro será asignada una cuenta de usuario y un archivo digital que deberá imprimirse y entregar en taquillas del transporte o bien en módulos destinados, para la entrega de las tarjetas digitales.

Con tarjeta el usuario podrá acceder al dispositivo de movilidad urbana, presentándola en los lectores colocados en las estaciones habilitadas con los dispositivos, de esta forma será permitido el desbloqueo magnético del motor. Una vez, liberado el dispositivo se iniciará un registro de uso que incluirá: fecha, hora, tiempo de uso, distancia recorrida, velocidad promedio y sitios visitados.

Toda esta información será almacenada en una base de datos y también estará disponible para el usuario en su cuenta de registro. A continuación, se presenta una propuesta de tarjeta (Figura 14) para el dispositivo de movilidad urbana; las imágenes solamente son ilustrativas.



Figura 14. Propuesta de tarjeta con la que se podrá tener acceso al dispositivo de movilidad urbana. **Fuente:** Logotipos tomados de las páginas oficiales del Metrobus, Gobierno del Estado de México, Ciudad de México y de la empresa Industrias Lince, con autorización previa. Logotipo de discapacidad con uso de reproducción libre.



Mediante las opciones de Aplicación en teléfonos móviles y la tarjeta digital se pretende realizar el préstamo del dispositivo de movilidad urbana para usuarios de sillas de ruedas.

Cabe señalar que *estas propuestas son líneas de investigación a futuro cercano a desarrollar, no implica que se encuentren disponibles es este momento*. Y para llevarlas a cabo será necesario buscar apoyos académicos, gubernamentales y de iniciativa privada, para que, de manera conjunta, la propuesta de integración del dispositivo de movilidad urbana para usuarios de sillas de ruedas, se pueda llevar a cabo.

Para colocar los dispositivos de movilidad urbana en el STC, será necesario realizar modificaciones mayores debido a que muchas estaciones no tienen accesos adecuados a personas con sillas de ruedas, sin embargo, esto haría que también las personas que circulan por esas estaciones puedan utilizarlos y así también incrementar su movilidad.

4. Conclusiones

Las personas con discapacidad son un sector de la población que requiere de sistemas, dispositivos y objetos de diseño, que satisfagan sus necesidades de movilidad urbana para proporcionar así mayor independencia al realizar sus actividades cotidianas.

Con el propósito de incrementar la movilidad urbana de usuarios de sillas de ruedas que tienen la necesidad de transportarse en la ZMVM, para asistir al trabajo, escuela, actividades deportivas o recreativas, fue propuesto este trabajo el cual, en una primera etapa concluyó con la fabricación de un prototipo físico funcional escala 1:1, que puede acoplarse a una silla de ruedas de uso cotidiano y movilizar al usuario en el entorno urbano, mediante mecanismos mecánicos y eléctricos. El prototipo se diseñó considerando las necesidades obtenidas del cuestionario en

línea y de algunas entrevistas en profundidad realizadas con usuarios.

El costo de fabricación de este primer prototipo fue de \$ 25,000 (veinticinco mil pesos), costo que podría considerarse elevado, sin embargo, es un precio real y coherente, ya que siempre los primeros prototipos resultan caros y cuando son llevados a la fabricación en serie, el costo disminuye debido a la integración de sistemas, procesos de manufactura y compra de materia prima en volúmenes altos a precios más bajos.

En cuanto al mantenimiento del dispositivo, será necesario establecer un programa de mantenimiento preventivo y correctivo, con revisiones semanales para detectar desgaste en los mecanismos y funcionamiento en los sistemas electrónicos y mecánicos. En caso de ser necesario se deberá realizar el cambio de algún elemento, el cual podrá remplazarse de manera rápida ya que la mayoría de las partes del dispositivo pueden obtenerse en el mercado nacional, además de mantener ciertas partes en almacén para agilizar la reparación.

Una de las posibles complicaciones que podrían surgir al momento de utilizar el prototipo es el acoplamiento del dispositivo a la silla de ruedas, debido a que existen diversos modelos y medidas; para ello, se propone diseñar y fabricar accesorios de acoplamiento con ajuste variable.

Estos accesorios se consideran viables ya que, sin importar la variación dimensional y modelos, las sillas de ruedas tienen partes comunes entre ellas, como son: la estructura y el eje principal o flecha y es en estos elementos que podrían integrarse los accesorios de acoplamiento.

Otro aspecto indispensable para que el dispositivo de movilidad urbana pueda ser utilizado por los usuarios, es su evaluación, la cual debe estar centrada en el aspecto ergonómico, funcionalidad, seguridad de uso en el entorno, y resistencia de los materiales.



En cuanto a la propuesta de integrar el dispositivo inicialmente en las estaciones del Metrobus, se deberá realizar convenios con el gobierno de la Ciudad de México y con el Estado de México; presentar el proyecto y buscar las redes de alianza para poder llevarlo a cabo.

Al integrar el dispositivo al flujo vehicular se tiene contemplado que podría haber ciertas afectaciones, entre ellas la posible disminución de velocidad del flujo vehicular, ya que el dispositivo no podrá ir a la misma velocidad que un automóvil y esto podría ocasionar lentitud y tráfico.

Este aspecto de la disminución del flujo vehicular podría evitarse, si el dispositivo pudiera circular en los carriles de las bicicletas, de tal manera que no afectaran la circulación de los automóviles y que los usuarios pudieran viajar con mayor seguridad.

Ahora bien, como limitantes de la propuesta para integrar el dispositivo a las estaciones del BRT se encuentra: 1) la poca disponibilidad del gobierno para desarrollar proyectos tecnológicos y sociales, y 2) la duración de las gestiones administrativas.

Lo anterior debido a los distintos partidos políticos que se encuentren gobernando al País en turno, en cuyo caso los apoyos para proyectos sociales pueden ser retirados, sin previo aviso.

En esta primera etapa del proyecto se cumple el objetivo de fabricar un dispositivo de movilidad urbana para usuarios de sillas de ruedas considerando las características de ZMVM y se hace la propuesta de integrar el dispositivo en estaciones del Metrobus, empleando medios digitales que estarán vinculados para ser utilizados por los usuarios.

En relación al Modelo General del Proceso de Diseño UAM, se puede concluir que siguiendo las etapas fue logrado el diseño y la producción del primer prototipo del dispositivo, considerando que no es un proceso lineal, es una

retroalimentación constante e interactiva entre las diferentes etapas del modelo.

Finalmente, para que el proyecto total pueda evolucionar tecnológicamente, será necesaria la vinculación de cuatro actores importantes: 1) la **Universidad** como parte académica que genera y trasmite conocimiento, 2) el sector productivo con **Empresas** mexicanas interesadas en el desarrollo de nuevos producto y avances tecnológicos, 3) el sector **Gobierno** para dirigir, regular y construir la infraestructura del entorno urbano, y 4) la **Sociedad** que genera recursos y que debe estar organizada para mejorar conjuntamente la calidad de vida de las personas.

5. Agradecimientos

- Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, por el apoyo de beca del Posgrado en Diseño y Desarrollo de Productos.

-Proyecto Divisional Diseño de Interfaces Inteligentes para la Simulación de Comportamientos de Organismos Vivos o Animados: sección de Interfaces de usuario inteligentes.

http://kali.azc.uam.mx/clc/00_principal/menu_inicio.html

-Industrias Lince por ROE-MEX S.A. de C.V.

-Nuestras Realidades A.C.

-A todas las personas que participaron en la encuesta en línea y en las entrevistas. Por motivos de éticos de confidencialidad no aparecen sus nombres.

6. Reconocimiento de autoría

Israel Garduño Bonilla: Conceptualización, Investigación, Metodología, Escritura-Borrador original. *Emilio Martínez de Velasco y Arellano:* Metodología, Supervisión, Análisis e Investigación.



Ana Lilia Laureano-Cruces: Metodología, Supervisión, Revisión, Análisis de la Investigación, Edición.

Referencias

- [1] INEGI, "Presentación de resultados censo 2020 Estados Unidos Mexicanos," México, 2020. Accessed: Jul. 31, 2021. [Online]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/Censo2020_Principales_resultados_ejecutiva_EUM.pdf
- [2] IMCO, "Índice de movilidad urbana: barrios mejor conectados para ciudades más incluyentes," México, Jan. 2019. Accessed: Jul. 31, 2020. [Online]. Available: <https://imco.org.mx/indices/indice-de-movilidad-urbana/capitulos>
- [3] M. L. Gutiérrez *et al.*, *Contra un Diseño Dependiente: un modelo para la autodeterminación nacional*, Primera Edición. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azc. División de Ciencias y Artes para el Diseño, 1992. <http://hdl.handle.net/11191/402>
- [4] SEDATU, CONAPO, and INEGI, *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015*, Primera Edición. México, 2018. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/sedatu>
- [5] OECD, "OECD Territorial Reviews: Valle de México, México," OECD, Oct. 2015. doi: 10.1787/9789264245174-en.
- [6] Gobierno del Distrito Federal, "Ley de Movilidad del Distrito Federal," Oct. 2016. Accessed: Jul. 31, 2021. [Online]. Available: http://www.paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/2016/LEY_MOVILIDAD_DISTRITO_FEDERAL_07_10_2016.pdf
- [7] INEGI, "La discapacidad en México, datos al 2014. Versión 2017," México, 2017. Accessed: Sep. 10, 2021. [Online]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvineg
- [8] SEDESOL, "Diagnóstico sobre la situación de las personas con discapacidad en México," 2016. Accessed: Jul. 31, 2021. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/126572/Diagnostico_sobre_la_Situacion_de_las_Personas_Con_Discapacidad_Mayo_2016.pdf
- [9] F. García, *La investigación tecnológica*, PRIMERA. México: Limusa Noriega Editores, 2005. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/recitutm/v1n2/art04.pdf>
- [10] D. Naranjo, "The Impact of Bus Rapid Transit System on Land Prices in Mexico City," 2013. Accessed: Jul. 31, 2021. [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/resrep18409.5>
- [11] Gobierno de la Ciudad de México, *Manual de Normas Técnicas de Accesibilidad*. México, 2016. http://data.indepedi.cdmx.gob.mx/manual_accesibilidad.html
- [12] J. Brázdil, "The estimation of property damage caused to the company ZLKL in consequence of damage of the ELBEE vehicle prototype," 2012. Accessed: Jul. 08, 2021. [Online]. Available: https://theses.cz/id/lrggkc/?lang=en#panel_latex
- [13] Access Exchange International, "Bringing the Gap," 2017. Accessed: Jul. 31, 2021. [Online]. Available: <https://www.globalride-sf.org/TransportingChildren/GuideToSchool.pdf>
- [14] N. G. Herguido, J. L. P. Cunill, A. B. Moreno, M. S. Macias, S. Morales-Conde, and P. P. García-Luna, "Paciente con paraplejía y obesidad mórbida; nuevo reto en la cirugía bariátrica," *Nutrición Hospitalaria*, vol. 29, no. 6, pp. 1447–1449, 2014. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.29.6.7400>



[15] M. D. R. Rivera-Barragán, "Alimentación en estudiantes con discapacidad," *Horizonte Sanitario*, vol. 19, no. 3, pp. 311–323, Sep. 2020. <https://doi.org/10.19136/hs.a19n3.3653>.

[16] M. Ortiz, "Preparación y caracterización de materiales compuestos para electrodos de baterías de litio," 2nda Jornada de Investigación Cerámica, 2016. <http://hdl.handle.net/20.500.12272/2469>

[17] D. Maneiah, D. Mishra, K. P. Rao, and K. B. Raju, "Process parameters optimization of friction stir welding for optimum tensile strength in Al 6061-T6 alloy butt welded joints," in *Materials Today: Proceedings*, Jan. 2020, vol. 27, pp. 904–908. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.215>.

[18] K. Chanyathunyaroj, S. Phetchcrai, G. Laungsopapun, and A. Rengsomboon, "Fatigue characteristics of 6061 aluminum alloy

subject to 3.5% NaCl environment," *International Journal of Fatigue*, vol. 133, Apr. 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105420>.

[19] E. L. Rooy, "Introduction to Aluminum and Aluminum Alloys," in *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*, vol. Vol 2, ASM International, 1990.

<https://doi.org/10.31399/asm.hb.v02.a0001057>.

[20] P. E. Hemeren, M. Johannesson, M. Lebram, and F. Eriksson, "Detecting Cyclists at Night: visibility effects of reflector placement and different lighting conditions," 2017. [Online]. Available:

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)