

# INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano

## PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Sustentabilidad del hábitat

PAP Programa de Edificación y Vivienda



**ITESO**  
Universidad Jesuita  
de Guadalajara

## OIKOS Y TECNÉ: ECOTECNOLOGÍAS PARA LA TRANSICIÓN PAP1F05

Prototipo de Movilidad Tribológica

### PRESENTAN

Programa educativo.  
Lic. en Ingeniería Mecánica  
Lic. en Ingeniería Ambiental

Nombre completo del alumno.  
Daniel Suárez Martínez  
Alejandro López Contreras

Profesor(es) PAP: David Vargas del Rio y Jesús Enrique Cueva Lomas

Tlaquepaque, Jalisco, 22 de febrero del 2017

**ÍNDICE**

Presentación de los Proyectos de Aplicación Profesional.	2
Resumen ejecutivo (abstract).	2
Introducción.	3
Capítulo I. Identificación del origen del proyecto, de la problemática y de los involucrados.	3
1.1 Antecedentes del proyecto.	3
1.2 Identificación del problema.	4
1.3 Identificación de la(s) organización(es) o actores que influyen o son beneficiarios del proyecto.	9
Capítulo II. Marco conceptual o teórico del proyecto. Palabras clave (ver tesauro de la UNESCO)	10
Capítulo III. Diseño de propuesta de mejora.	15
3.1 Enunciado del proyecto. Localización geográfica	15
3.2 Metodología.	15
3.3 Cronograma o plan de trabajo.	17
Capítulo IV. Desarrollo de propuesta de mejora.	18
Capítulo V. Productos, resultados e impactos generados.	30
5.1 Productos obtenidos.	30
5.2 Resultados alcanzados.	30
5.3 Impactos generados.	30
Capítulo VI. Aprendizajes individuales y grupales	30
6.1 Aprendizajes profesionales.	30
6.2 Aprendizajes sociales.	32
6.3 Aprendizajes éticos.	33
6.4 Aprendizajes en lo personal.	35
Capítulo VII. Conclusiones y recomendaciones.	39
7.1 Conclusiones.	39
7.2 Recomendaciones.	39
Referencias Bibliográficas (sistema APA).	40
Anexos. (Respetar confidencialidad).	41

# REPORTE PAP

## Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) del ITESO

Los Proyectos de Aplicación Profesional son una modalidad educativa del ITESO en la que los estudiantes aplican sus saberes y competencias socio-profesionales a través del desarrollo de un proyecto en un escenario real para plantear soluciones o resolver problemas del entorno.

A través del PAP los alumnos acreditan tanto su servicio social como su trabajo recepcional, por lo que requieren de acompañamiento y asesoría especializada para que sus actividades contribuyan de manera significativa al escenario en el que se desarrolla el proyecto, y sus aprendizajes, reflexiones y aportes sean documentados en un reporte como el presente.

### Resumen ejecutivo.

### Abstract

### Introducción

El proyecto nace como respuesta a una problemática de movilidad que se vive actualmente en la ciudad a falta de medios de transporte eficientes. Realizar viajes de un lado a otro representa un alto gasto energético y contaminante generado por los medios de transporte públicos y privados que existen actualmente. Como parte de la solución se propone y desarrolla un prototipo de movilidad tribológica conformado por una pista de acrílico a la que se le adecuan válvulas solenoides conectadas a una tubería con flujo a presión, que se activan cuando los vehículos transitan sobre la pista por medio de sensores. Así, se genera una película delgada de agua que elimina gran parte de la fricción entre los vehículos y la pista, logrando un efecto similar a la levitación magnética, pero a un menor costo. Es un principio conocido, pero que no se ha pensado como un sustituto de los sistemas de transporte sobre ruedas convencionales que existen en la movilidad urbana.

Lo novedoso en esta propuesta se encuentra en el aprovechamiento de la presión hidrostática para eliminar la fricción entre la base de los vehículos y la pista cuando transitan sobre

ella en confrontación facial. Esto permite tener vehículos pequeños, ligeros y silenciosos, como una bicicleta, pero más cómodos y rápidos como un automóvil. Con esto se reduce considerablemente la energía que se requiere para la locomoción. Tal reducción del consumo energético implica a su vez menor contaminación y un menor costo, por lo tanto, ofrece sistemas de transporte urbano más amigables con el medioambiente.

## **Capítulo I. IDENTIFICACIÓN DEL ORIGEN DEL PROYECTO Y DE LOS INVOLUCRADOS**

### **1.1 Antecedentes del proyecto**

El proyecto propone una alternativa de movilidad eficiente y amigable con el medio ambiente en la zona metropolitana de Guadalajara. Actualmente nos encontramos en un estado crítico en cuestiones medioambientales y en el tema del calentamiento global, que se ha generado por la falta de conciencia e incorrecta aplicación de las ciencias tecnológicas que no se han desarrollado a la par de las ciencias y necesidades sociales actuales. La tecnología, que originalmente se desarrolló como un medio para elevar al ser humano por encima de la pobreza, el esfuerzo y la enfermedad, se presenta actualmente como su principal amenaza (Huesemann y Huesemann, 2011). La tecnología del automóvil es inadecuada por la cantidad de espacio público que aliena, y por las dinámicas sociales, ambientales y económicas que genera en torno a él.

Este proyecto se enfoca en la construcción de un prototipo que permita generar una propuesta de movilidad alternativa eficiente, viable y pública de transporte para la población en la zona metropolitana de Guadalajara. Su funcionamiento se basa en el estudio del sistema de transporte rápido personal (Personal Rapid Transport en inglés, PRT) el cual funciona como medio de transporte público conformado por pequeños vehículos automáticos operando en una especie de carril-guía automatizado. Se propone un tipo de PRT tomando los principios de la tribología para aumentar la eficiencia energética, empleando un lubricante, en este caso, agua. A través de esta tecnología, se busca que se puedan transportar una gran cantidad de personas optimizando el uso del espacio público que se encuentra designado para el automóvil y ofrecer una alternativa de movilidad menos agresiva para la sociedad y el medio ambiente. De esta manera, se busca que la población se transporte de un lado a otro en tiempos más cortos, reduciendo la contaminación y el despidimiento de gases tóxicos hacia la atmósfera, así como disminuir la congestión vial en la ciudad.

### **1.2 Identificación del problema**

Actualmente, el sector automotriz constituye una de las industrias globales más grandes que

existen, llegando a generar dos billones de dólares por la manufactura de automóviles, sin contar servicios ni tecnologías accesorias. Si esta industria se compara con la economía de un país, sería la sexta mayor economía a nivel mundial. Los ingresos que genera, sirven para emplear a más de nueve millones de personas de forma directa y a más de cincuenta millones de forma indirecta (Dediu, 2015). México, tiene un papel importante en esta industria ya que participa con el 3.9% de la economía global (OICA, 2015).

Las previsiones de esta industria indican que seguirá su crecimiento. El número de automóviles aumenta 10% anualmente e incluso puede llegar a duplicarse en un periodo de siete años. Los países que cuentan con mayor incremento en su flota de automóviles son: China (15%), Chile, Corea, Costa Rica y México (Gakenheimer,1998). Este incremento ha provocado un fenómeno mundial en el que cada vez se necesitan vialidades más grandes para que estos puedan circular siendo una carga económica mayor para los países. Por ejemplo, en el Reino Unido, la industria del automóvil emplea a 732, 000 personas y contribuye con 34.2 billones de libras esterlinas a la economía, 0.8% del PIB. Sin embargo, el tráfico – causado por el incremento del uso del automóvil y el incremento de las velocidades – le cuesta al país un estimado anual de 20 billones de libras esterlinas (Department for Business Innovation and Skills, 2016).

Generalmente, la superficie destinada al automóvil ronda entre el 20 y 30% del total dentro de las ciudades e incluso llega a alcanzar el 40% en ciudades modernas (Estevan y Sanz, 1996). Esto es bastante elevado ya que se podría destinar parte de este espacio para parques, jardines u otro fin que sirva para mejorar la calidad de vida de los habitantes. Ciertamente, los vehículos son grandes y pesados tomando en cuenta que su objetivo es desplazar al ser humano de un punto a otro. El espacio requerido por una movilidad basada en el automóvil es 90 veces mayor que si el mismo viaje se efectúa en metro, y 20 veces más que en autobús o tranvía (IDAE, 2006).

En términos ambientales la tecnología del automóvil posee un alto costo. Los motores de combustión interna emiten diversos gases contaminantes: óxido nitroso, monóxido de carbono, dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, macropartículas, dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, plomo, por mencionar algunos. Estas emisiones representan el principal foco emisor de la contaminación del aire en las ciudades (Derek, 1990). El tráfico motorizado contribuye con el 22% de las emisiones de CO<sub>2</sub> mundialmente (Gakenheimer,1998).

“El parque vehicular de México tiene un 67% de automóviles y un 33% de camiones, autobuses y motocicletas” (García, Maldonado,2012). Este uso mayoritario de automóviles genera en las ciudades congestión vial y una alta cantidad de gasto energético y contaminante por sus emisiones del CO<sub>2</sub>. De ahí que el del transporte público que no dependa de las vialidades donde transitan los automóviles y camiones, se convierta cada vez más en una alternativa eficiente en tiempos y en gasto energético para los habitantes de las zonas urbanas.

El uso del automóvil está ligado con afecciones a la salud, incluyendo a los que no son usuarios de estos. Uno de los mayores problemas que se tienen en las ciudades debido a su uso es el material particulado (PM). Este se divide según su tamaño y su afección se produce directamente

en el sistema respiratorio. Los automóviles contribuyen con aproximadamente el 30% de PM<sub>2.5</sub> y 50% de PM<sub>0.1</sub> que está presente en las ciudades (Air Quality Expert Group, 2005). También, la contaminación de aire provocada por los gases de combustión de los motores, es responsable de un millón de muertes globalmente cada año, la mayoría a través de enfermedades cardiovasculares y cáncer, particularmente en grupos vulnerables (Gakenheimer, 1998). Por otra parte, el ruido de los automóviles circulando por las grandes avenidas de las ciudades son causantes de la alteración al ciclo de sueño, hipertensión, incremento de la presión sanguínea y daño psiquiátrico en menor medida (Ohrstrom, 1992).

Además, el uso del automóvil provoca otras enfermedades y muertes, no solamente las relacionadas a sus emisiones. Los choques de tráfico vehicular causan 1.3 millones de muertes y hasta el 50% de las lesiones globales por año (World Health Organization, 2011). Para el 2030, se espera que sea el responsable del 5% de todas las enfermedades en el mundo. 90% de las lesiones ocurren en países con bajo o medio ingreso y cerca de la mitad de las muertes son en usuarios vulnerables como lo son los peatones y ciclistas, especialmente niños (Mindell, 2011).

Reemplazar el coche por otros medios de transporte podría incrementar las tasas de actividad física y disminuir la obesidad. La inactividad física es responsable de más de 3 millones de muertes por año y el uso del automóvil la fomenta (World Health Organization, 2013). Para un individuo, cada kilómetro caminado por día es asociado con una reducción del 4.8% en la probabilidad de desarrollar obesidad, mientras que cada hora en el automóvil está asociada con un incremento del 6% (Frank L & Schimd, 2004).

Algunas ciudades han desarrollado serios problemas de movilidad debido a su crecimiento y al alto uso del automóvil. Por ejemplo, el tiempo promedio de un viaje diario en un solo sentido en Río de Janeiro es de 90 minutos. En Bogotá, de 60 minutos. La velocidad vehicular promedio en Manila es de siete millas por hora. El auto en Bangkok pasa detenido en el tráfico, en promedio, el equivalente a 44 días al año (Gakenheimer, 1998). Sin embargo, pese a lo mencionado anteriormente, los dueños de automóviles tienen en mayor medida una mejor salud que los que no tienen, reflejando su mayor prosperidad. También tienen mejor acceso a empleo, servicios y amenidades, siendo esto el reflejo de las políticas que priorizan el uso del automóvil privado sobre el transporte público (Macintyre, Hiscock, & Kearns, 2001). Aunque lo anterior también podría deberse al vínculo entre el automóvil y el estatus socioeconómico.

La situación en la ciudad de Guadalajara es muy similar a la que se vive globalmente. Es la segunda ciudad más grande de México, ya que cuenta con una población de 4.2 millones de habitantes. La zona conurbada de Guadalajara (ZCG), se encuentra integrada por los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, El Salto, Juanacatlán, Tlajomulco de Zúñiga e Ixtlahuacán de los Membrillos. De hecho, concentra más del 62% de la población de Jalisco. El municipio de Guadalajara cuenta con 1.6 millones de habitantes, el 38% de la población de la ZCG (Colectivo Ecologista de Jalisco, 2012).

La población tapatía utiliza diversos sistemas para transportarse donde el 31% es por parte

del transporte colectivo (camiones, trenes, tranvía), el automóvil es utilizado por el 32% de la población y el 37% de los viajes son hechos a pie. Entre los viajes motorizados, el 49% se realizan en transporte público, uno de los valores más bajos del Observatorio de Movilidad Urbana (OMU)(Banco de Desarrollo de América Latina , 2011).

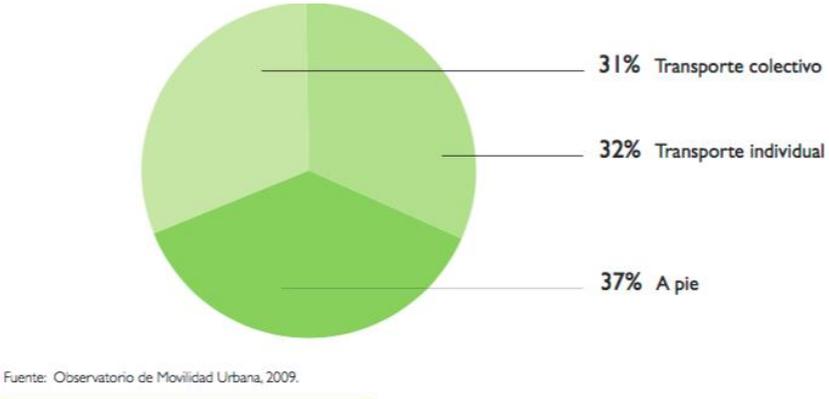


Figura 1. Distribución de viajes realizados

Guadalajara cuenta con alrededor de 4.700 vehículos de transporte colectivo (Colectivo Ecologista de Jalisco, 2012).

En la última década la cantidad de automóviles en la ZCG ha aumentado exponencialmente como se puede observar en la tabla que se presenta a continuación:

	Guadalajara	Tlaquepaque	Tonalá	Zapopan
2000	475,897	78,695	35,803	227,768
2001	485,498	64,878	37,605	239,492
2002	593,923	85,022	55,325	336,832
2003	625,075	109,763	61,493	366,093
2004	657,258	122,237	68,362	393,618
2005	688,064	138,415	75,569	424,768
2006	738,535	126,065	85,357	464,741
2007	776,178	139,626	94,003	494,084
2008	807,337	195,691	102,039	520,711
2009	818,127	210,357	106,641	536,181
2010	834,032	224,479	112,104	555,413
Incremento	75.3%	185.3%	213.1%	143.9%

Fuente: INEGI. Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación. 2010

*Tabla 1. Aumento de automóviles en la ZMG*

A finales de la década anterior, el índice de motorización era de 408 automóviles por cada mil habitantes. (Colectivo Ecologista de Jalisco, 2012)

Según el Banco de Desarrollo de América Latina, en promedio los costos de uso de transporte individual motorizado (automóvil, motocicleta y taxi) ascienden a USD 2.137 MM anuales (el 89% en automóviles). Esto coloca el área en una posición alta con respecto al resto de los participantes del OMU. El costo de utilización del transporte colectivo es de alrededor de USD 552 MM (el 29% del costo en transporte individual). El costo unitario de un viaje en automóvil asciende a USD 2,4, mientras que en medios de transporte colectivo es de USD 0,61 (el 25% del costo en automóvil) (Banco de Desarrollo de América Latina, 2011).

El 99% de la energía utilizada en todos los tipos de transporte en el área son a base gasolina y diésel, donde la gasolina constituye el 86% del total de la energía consumida. Por su parte, el transporte colectivo se compone del 89% de diésel y el 11% de energía eléctrica para el tren (Banco de Desarrollo de América Latina, 2011). De esta forma, las emisiones se concentran especialmente en el transporte individual. Concretamente, las emisiones de CO<sub>x</sub> de los automóviles a gasolina significan 387 toneladas diarias, mientras que las de los autobuses diésel significan 20 toneladas diarias. Una situación similar, aunque en cantidades más bajas, se registra en el caso de otros contaminantes. En el caso del CO<sub>2</sub>, el transporte individual produce 3.600 toneladas diarias, mientras que el transporte colectivo produce 1.400 toneladas diarias (Colectivo Ecologista de Jalisco, 2012).

Los accidentes vehiculares también son comunes en Guadalajara. Se presenta una tasa alta de 15 víctimas fatales por cada 100.000 habitantes. Los peatones conforman el grupo con mayor porcentaje de víctimas (el 52% del total) (Banco de Desarrollo de América Latina, 2011).

Actualmente, los servicios de transporte público son prestados por dos sistemas:

- 17 empresas se encargan de prestar el servicio de transporte público utilizando 4.500 vehículos convencionales y 450 unidades con servicio para discapacitados (el 36,31% de los pasajeros transportados en 2007) (Secretaría de Movilidad de Jalisco, 2016).
- Dos líneas de tren eléctrico urbano con 29 estaciones y 24km de longitud. Una tercera línea está siendo construida (Secretaría de Movilidad de Jalisco, 2016).

Según el Banco de Desarrollo de América Latina, en su estudio "Desarrollo y Movilidad en América Latina" llevado a cabo en el 2011, cualquier sistema de transporte que sea desarrollado en Guadalajara deberá cumplir con los siguientes principios para que sea justificable su construcción:

- Debe ser incluyente brindando las mismas posibilidades de acceso y servicios a las personas sin importar su condición socioeconómica.
- Debe ser de alta calidad y fiable.
- El Gobierno es el responsable de la planeación y gestión y deberá satisfacer las necesidades de aquellos que vivan en la periferia de la ciudad.
- Debe ser diseñado para proteger la integridad de las personas con altos estándares de seguridad. Además, debe mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad.
- Debe estar pensado en disminuir el impacto al medio ambiente.
- Los encargados de la toma de decisiones del transporte tienen que buscar la integración entre la planeación, el reparto y el uso del transporte público.
- Los procesos de la toma de decisiones en el transporte público deben apoyar, alentar y proveer recursos para la participación popular.
- Debe buscar minimizar el uso de recursos naturales, además de reducir la emisión de sustancias tóxicas para el ser humano y el ambiente.
- Deben ser sostenibles en el tiempo buscando el retorno de los activos y recursos.
- Los sistemas de transporte deben atender al costo-beneficio ahora y en el futuro.

La situación del transporte en la ZCG no se parece en nada a lo recomendado por el Banco de

Desarrollo de América Latina. Para empezar, está pensado en beneficiar a las personas que tienen un nivel socioeconómico alto, al promover las obras de infraestructura viales para el uso del automóvil. Además, el transporte público es inseguro para los usuarios, no tiene la capacidad suficiente y muchas veces tiene que ir la gente de pie, siendo un riesgo alto para la integridad de las personas en caso de un accidente. Es muy poco eficiente energéticamente y emite diferentes contaminantes causantes de enfermedades a la población como partículas PM10, CO y benceno.

### **1.3 Identificación de la(s) organización(es) o actores que influyen o son beneficiarios del proyecto**

El proyecto tiene como organizaciones involucradas principalmente al Instituto de Movilidad y Transporte de Jalisco, que es un organismo público descentralizado del poder ejecutivo del estado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, cuyo objeto primordial es promover la movilidad y el transporte sustentables, mediante el desarrollo y la ejecución de acciones de planeación, proyectos, diseño, investigación y monitoreo de la movilidad y transporte de personas, bienes y servicios en el Estado de Jalisco (IMTJ). Este organismo sería distinguido como una contraparte, ya que las aportaciones e investigación proporcionada por el proyecto de movilidad tribológica, serían de gran ayuda e interés debido a que el proyecto a desarrollar está ligado directamente con sus objetivos y visiones de proporcionar a la sociedad sistemas de transporte sustentables y eficientes para el desarrollo urbano.

Como beneficiarios directos del proyecto están involucrados los usuarios del transporte de movilidad, que gracias al sistema conocido como PRT (siglas en inglés) transporte rápido personal, los tiempos de traslado de un lugar a otro serán mucho más cortos y eficientes. Este proyecto será una alternativa de transporte público para miles de usuarios que actualmente utilizan el metro, los camiones de ruta y el macrobús o que incluso se desplazan a pie.

## **Capítulo II. MARCO CONCEPTUAL O TEÓRICO DEL PROYECTO**

**Palabras Clave:** Tribología, transporte público, movilidad urbana, sustentable, agua, eficiencia energética, lubricante.

El Personal Rapid Transit es un término que se empezó a utilizar a finales de la década de 1960 en un estudio realizado por el departamento de Hogar y Desarrollo Urbano en la Universidad de Princeton (Princeton, 2007). Esta tecnología consiste en una red de pistas que permiten trasladar a pasajeros por medio de coches o cápsulas individuales. Además, existe una computadora central que se encarga de distribuir el tráfico de una forma óptima (Princeton, 2007). “La tecnología PRT (Personal Rapid Transport, por sus siglas en inglés) integra los fundamentos más importantes de las

diferentes industrias como los son la automotriz, la industria de aviación y la industria ferroviaria. Este último referente al diseño de los diferentes rieles o sistemas de desplazamiento que se usan en los PRT” (Mogge, 2009). Como menciona Mogge, el mayor reto que enfrentan los PRT es la integración de las mismas tecnologías que lo conforman. “La industria automotriz ofrece la posibilidad de movilidad con ruedas, la industria de aviación ofrece su precisión, localización, control y competencias de comunicaciones para redes complejas y por último, la industria ferroviaria ofrece su competencia integrada en la seguridad de los pasajeros” (The Technology of Personal Rapid Transit. 2016). Una de las principales ventajas, que hace a esta tecnología viable, es que con el paso del tiempo el costo de los chips y la tecnología GPS se ha abaratado al punto de llevar el costo marginal de operación a largo plazo casi a cero (Princeton, 2007).

La fricción es la resistencia al movimiento que se experimenta cuando un cuerpo sólido se mueve sobre otro. El desgaste es el daño superficial o pérdida de material de una o ambas superficies sólidas en contacto dinámico. Materiales, recubrimientos y tratamientos para superficies se utilizan para controlar la fricción y el desgaste. Uno de los medios más eficaces para controlar la fricción y el desgaste es con una lubricación adecuada, que proporciona un correcto funcionamiento y un tiempo de vida satisfactorio para los elementos de máquina. Los lubricantes pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. El papel de la rugosidad de la superficie, los mecanismos de adhesión, la fricción y el desgaste, y las interacciones físicas y químicas entre el lubricante y las superficies que interactúan, deben ser entendidos para obtener un rendimiento óptimo y fiable (Bhushan, 1999).

Dentro de la tribología las superficies que entran en contacto pueden ser conformes y no conformes. Las superficies conformes se ajustan perfectamente entre sí con un alto grado de conformidad geométrica de modo que la carga se transporta sobre un área relativamente grande. El área de la superficie de transporte de carga permanece esencialmente constante mientras se incrementa la carga. Los cojinetes de película fluida y los cojinetes de deslizamiento tienen superficies conformes. Por otro lado, las superficies no conformes son las que no se ajustan geométricamente entre sí y tienen pequeñas áreas de lubricación. En general, el área de lubricación entre superficies no conformes aumenta considerablemente con el aumento de la carga, pero aun así el área de lubricación es menor que la de las superficies conformes (Hamrock, 1994).

Un lubricante es todo aquel material o sustancia que ayuda a reducir la fricción y el desgaste y se introduce entre dos superficies que se encuentra muy próximas y en movimiento. El efecto que ocasiona un lubricante es muy importante en el área de la mecánica, ya que permite el funcionamiento continuo y suave de equipos, sin que exista un desgaste o estrés significativo en las partes móviles.

Existen cinco formas de lubricación: hidrodinámica, hidrostática, elastohidrodinámica, límite y de película sólida. La lubricación hidrodinámica significa que las superficies de soporte de carga del cojinete se encuentran separadas por una película de lubricante relativamente gruesa, para prevenir el contacto entre superficies y que la estabilidad que se obtiene de esta manera pueda explicarse mediante las leyes de la mecánica de fluidos. También se llama de película completa o fluida. La lubricación hidrostática se obtiene al introducir el lubricante, que a veces es aire o agua, en

el área de soporte de carga a una presión suficientemente alta para separar las superficies con una película de lubricante gruesa. A diferencia de la lubricación hidrodinámica, está no requiere movimiento de una superficie en relación con otra. La lubricación elastohidrodinámica es el fenómeno que ocurre cuando se introduce un lubricante entre las superficies en contacto rodante. La lubricación límite tiene lugar cuando existe un área de contacto insuficiente, una caída de la velocidad de la superficie móvil, una reducción de la cantidad de lubricante que se suministra al cojinete, un incremento de la carga del cojinete o un aumento de la temperatura del lubricante, lo que provoca una disminución de la viscosidad y se evita la acumulación de una película suficientemente gruesa para la lubricación de una película completa. Cuando esto sucede, las asperezas más superficiales quizá queden separadas por películas de lubricante de sólo varias dimensiones moleculares de espesor. La lubricación de película sólida tiene lugar cuando los cojinetes necesitan trabajar a temperaturas extremas. Para ello, se emplean lubricantes como grafito o bisulfato de molibdeno ya que los aceites minerales ordinarios no resultan adecuados (Budynas, Nisbett, 2012).

Para este proyecto se trabaja con lubricación hidrodinámica o de película fluida. Este tipo de lubricación, como se mencionó anteriormente, se produce cuando la lubricación no depende de la introducción del lubricante a presión, aunque puede ocurrir, sino de la existencia de un suministro adecuado todo el tiempo. La presión de la película es creada por la propia superficie en movimiento al jalar el lubricante hacia una zona uniforme a una velocidad lo suficientemente alta como para crear la presión necesaria, a fin de separar las superficies contra la carga del cojinete (Budynas, Nisbett, 2012).

Un fenómeno importante a tener en cuenta cuando se trabaja con la lubricación es la viscosidad del lubricante. En la figura 4 se muestra la placa A que se mueve con una velocidad  $U$  en una película de lubricante de espesor  $h$ . Se supone que la película está compuesta por una serie de capas horizontales y la fuerza  $F$  causa que estas capas se deformen o se deslicen una sobre otra igual que un mazo de cartas. Las capas en contacto con la placa móvil asumen una velocidad  $U$ ; se supone que las que se encuentran en contacto con la superficie estacionaria tienen una velocidad de cero. Las velocidades de las capas intermedias dependen de las distancias y con respecto a la superficie estacionaria. El efecto viscoso de Newton estipula que el esfuerzo cortante del fluido es proporcional a la rapidez de cambio de la velocidad con respecto a  $y$ . Por lo tanto,

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{U}{h} \quad Ec.1$$

donde  $\mu$  representa la constante de proporcionalidad y define la viscosidad absoluta, también llamada viscosidad dinámica. La derivada  $du/dy$  es la rapidez o razón de cambio de la velocidad con la distancia, que se denomina razón de corte o gradiente de la velocidad. De esta forma, la viscosidad  $\mu$  mide la fricción interna del fluido (Budynas, Nisbett, 2012).

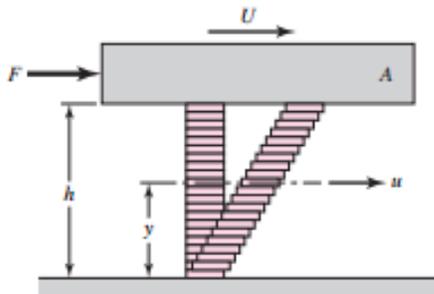


Figura 4. Viscosidad (Budynas, Nisbett, 2012)

Existen diferentes tipos de lubricante y cada uno es usado en situaciones específicas, o donde se quiera aplicar alguna o algunas de las funciones mencionadas anteriormente. En la actualidad hay básicamente cuatro tipos de materiales o sustancias que pueden cumplir la función de lubricante: grasas, gases, líquidos y sólidos. Cada uno de los tipos mencionados anteriormente son usados para fines específicos, es decir que no todos pueden ser usados para obtener el mismo efecto en la misma magnitud. Los lubricantes de grasas son muy buenos para reducir el desgaste que existe entre dos superficies y protegerlas al mismo tiempo, sin embargo, no sirven como refrigerante y debido a su viscosidad no fluyen como lo haría un líquido. Los sólidos son usados en menor escala que los otros tipos de lubricante y esto se debe a que son usados sólo cuando las condiciones no permiten el uso de los otros lubricantes como sería el caso de temperaturas muy altas o de ambientes químicos muy agresivos.

Buscando generar el menor impacto al medio ambiente con esta propuesta, se elige como lubricante el agua. Una gran proporción de los lubricantes contaminan el ambiente ya sea durante su uso o después de este. Emplear agua como lubricante permite captarla de la lluvia o emplear aguas grises para este sistema. De igual forma, cabe mencionar que la viscosidad del agua varía muy poco en relación al cambio de temperatura al que estará expuesto el sistema a lo largo del día y durante el cambio de estaciones, lo que la hace ideal para mantener el espesor de película constante.

La eficiencia energética se define como “todas aquellas acciones que conllevan a una reducción económicamente viable de la cantidad de energía que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes demandados por la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior y una disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía, quedando incluida la sustitución de fuentes no renovables por fuentes renovables de energía.” (Coronado, Ventura y Gómez, 2012). Los sistemas de transporte que hoy en día se utilizan distan mucho de alcanzar la eficiencia energética ya que se tienen enormes pérdidas en su generación, en su distribución, en la conversión a energía mecánica y por último, 60% de pérdidas de fricción. Es por eso que la eficiencia energética es muy importante actualmente, ya que a causa de las grandes emisiones de  $CO_2$  causadas por consumos energéticos elevados y su baja eficiencia, la temperatura del mundo está aumentando y se está viendo afectado

todo el planeta por un inminente cambio climático. Es la eficiencia energética el camino más adecuado para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo y contribuir a una mejora en el medio ambiente actual.

Para lograr el desarrollo sustentable de los seres humanos es de suma importancia poder atender y resolver las problemáticas actuales como el crecimiento poblacional, la conservación del medio ambiente, el bienestar de la población, el crecimiento económico y la seguridad energética (León y Trejo, 2012).

El transporte es uno de los sectores que más contribuyen a la contaminación y emisión de dióxido de carbono en México y en el mundo, siendo este el principal aportador al cambio climático (García, Maldonado, 2012). Uno de los principales objetivos del prototipo de movilidad tribológica es el de tener la mayor eficiencia posible, eficientando los mecanismos actuales y no dependiendo de combustibles fósiles, ya que los gases producidos por el transporte al consumir este tipo de combustible, son dañinos a la salud y al medio ambiente, además de ser un recurso limitado en el planeta. Eficientar y optimizar los medios de transporte actualmente, tiene una gran importancia energética, ya que el sector del transporte consume poco más de 40% de la energía que se produce en el país. (García, Maldonado, 2012). Es por eso que en este proyecto se busca utilizar fuentes de energía alternas y con alta eficiencia energética, para así poder satisfacer las necesidades de los usuarios, generando un sistema de transporte cómodo, funcional y sobretodo amigable con el medio ambiente.

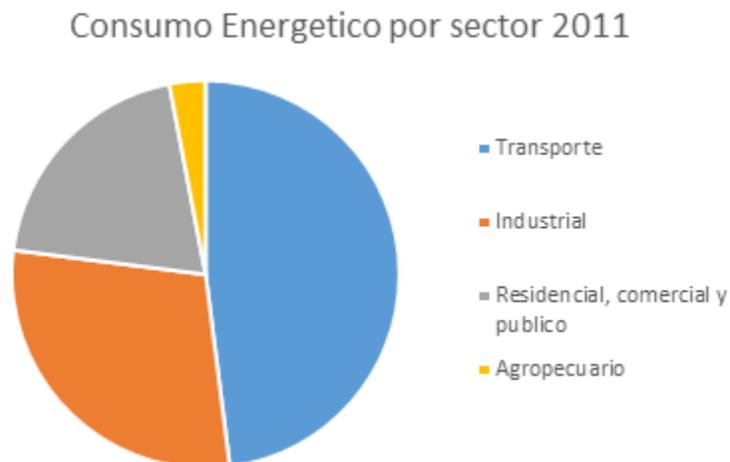


Figura 3. Balance General de Energía. Sener 2011-Mexico.

Como se puede observar, la ciudad de Guadalajara necesita de un sistema de transporte que pueda reemplazar el uso del automóvil y convivir de una forma más amigable con la sociedad y

el medio ambiente. Es por eso que se propone un sistema de transporte tribológico. La tribología — la ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación que tienen lugar durante el contacto entre superficies sólidas en movimiento— confronta los sistemas mecánicos tradicionales al demostrar que aproximadamente el 60% de la energía se pierde en fenómenos de fricción (Fuller, 1956). La palabra tribología se deriva del griego “tribos” que significa frotamiento, por lo que la traducción literal sería “la ciencia del frotamiento”. Su equivalente sería fricción o desgaste o ciencia de la lubricación, empleados más comúnmente. Los diccionarios definen la tribología como la ciencia y tecnología que estudia la interacción entre superficies en movimiento relativo y los temas y prácticas relacionados con las mismas. La tribología es el arte de aplicar el análisis operativo a problemas de gran importancia económica, es decir, la fiabilidad, el mantenimiento, y el desgaste de los equipos técnicos, que van desde naves espaciales hasta aparatos electrodomésticos (Bhushan, 1999).

## **Capítulo III. DISEÑO DE PROPUESTA DE MEJORA**

### **3.1 Enunciado del proyecto**

Este proyecto busca generar una propuesta de movilidad sustentable para la Zona Metropolitana de Guadalajara. Se propone un tipo de sistema PRT (Personal Rapid Transit), que se basa en los principios de la tribología para ofrecer un sistema que, por medio de la lubricación de la superficie en contacto de la pista y el vehículo de transporte, se reduzca la fricción, aumentando la eficiencia energética. Para disminuir el impacto generado al medio ambiente, se propone emplear agua como lubricante y obtenerla de la lluvia o usar aguas grises. Como objetivo principal se tuvo llevar a cabo la construcción un prototipo de 6m de longitud a escala 1:10 que permitiera estudiar el principio tribológico aplicado. En cambio, como objetivos secundarios se tuvieron la cuantificación de la eficiencia energética dentro del sistema, la investigación de los sensores óptimos para la detección del vehículo en movimiento, y por último, la comparación energética con otros sistemas de transporte masivo como lo es la Línea 3 del Tren Ligero.

### **3.2 Metodología**

Para poder llevar a cabo el proyecto y su correcta ejecución, se tuvieron varias etapas y fases que incluyeron actividades específicas de las metodologías existentes. El proyecto se basó en la metodología de cascada, que se define como “Ciclo de vida que admite iteraciones y no es lineal, después de cada etapa se realizaron revisiones para comprobar si pasar a la otra.” (Cantone, 2008). Los recursos humanos con los que se contaron fueron de dos personas, Alejandro y Daniel. Además, se contó con el apoyo de Diego y Néstor, compañero de clase y de los asesores de PAP, David Vargas y Enrique Cueva. En cuanto a los recursos económicos, se tuvo un presupuesto de

60mil pesos bajado de la convocatoria ganada el semestre pasado por parte del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Jalisco (COECYTJAL).

El proyecto se dividió en tres fases: diseño, construcción y eficiencia energética.

Durante la primera fase se sentaron las bases del prototipo de 6m. Se consultaron los documentos elaborados del semestre pasado para obtener información de las áreas de oportunidad observadas dentro del prototipo de 1m. Dichas observaciones sirvieron para diseñar la pista de la forma más eficiente posible para reducir las pérdidas de energía o de agua dentro de esta. El diseño de cálculos se realizó en una hoja de cálculo que permitiera modificar los valores fácilmente y así obtener los resultados recalculados, en caso de ser necesario. Todo esto fue para tener un análisis de los datos fiable y rápido que permita hacer modificaciones al diseño y optimizarlo. Dentro de esta herramienta se especificaron claramente las variables a utilizar para que cualquier persona pueda hacer uso de ella. Los valores obtenidos fueron utilizados en un modelo en 3D diseñado a través de Solidworks que permita una visualización clara del prototipo propuesto.

El prototipo estuvo detallado lo más posible, esto quiere decir que, el número de válvulas solenoides, sensores, sistemas de drenaje y recirculación de agua, soportes, y todo aquel material a utilizar, apareció en dicho modelo. Además, el prototipo se limitó a 6m de longitud debido a que eso fue lo que se acordó con el COECYTJAL para la obtención de recursos para su construcción.

Dentro de esta fase, se investigó el sistema de frenado propuesto para el carro a través de fuentes bibliográficas y consultas con expertos en el tema. Se analizaron los sistemas de frenado magnético y mecánico para encontrar el que se adapte mayor a las necesidades del PRT propuesto.

Posteriormente, se realizó la elección de componentes a utilizar cuidando que sean lo más exactos para evitar pérdidas de energía dentro del sistema, ya que al final el objetivo del prototipo fue cuantificar su eficiencia energética. Dichos componentes fueron cotizados de preferencia con proveedores locales para evitar el involucramiento de agentes aduanales, gastos de importación o retrasos en tiempos de entrega. Fue necesario visitar por lo menos a tres proveedores de cada uno de los componentes para asegurarse de obtener el mejor precio posible, siempre y cuando este cuide la calidad del mismo.

Una vez cotizados los componentes, se validaron con las autoridades dentro de la institución para proceder a su compra inmediata. Se buscó perder el menor tiempo posible en la compra de los componentes para optimizar el tiempo con el que se cuenta.

Después, se dio comienzo la fase dos del proyecto: la construcción. Durante esta fase se realizó la manufactura del prototipo con los componentes adquiridos. Dicha construcción tuvo que llevarse en un lugar controlado dentro del campus, el cual no necesitara estar moviendo el prototipo sino hasta el final de la construcción del mismo para evitar las pérdidas de tiempo en el acomodo de las cosas. La manufactura requirió una caja de herramientas que tuviera tornillos, clavos, taladro y brocas de diferente grosor, serrucho, entre otras para poder llevar a cabo su manufactura dentro de

la universidad. También se requirió llevar la lámina de acrílico a corte con láser o CNC para obtener medidas exactas. Para el corte de los perfiles de aluminio, fue necesario contar con discos de corte para esta para poder llevar a cabo su corte lo más rápido posible. El proceso de manufactura hubiera sido rápido, siempre y cuando se contara con todas las herramientas y materiales para llevarlo a cabo.

Después, se procedió con la instalación de sensores y sistemas electrónicos. Para esta fase se necesitó contactar a alguna persona que conozca acerca del tema y que nos ayudara a seleccionar el sensor más adecuado para el uso que le queremos dar. Esta persona fue Andrés, el becario de David, quien nos apoyó en todo momento. Se tuvo que prestar especial atención a que dichos sensores tuvieran una alta sensibilidad para que la válvula inyectara el agua en el momento adecuado. También, se necesitó ayuda para la instalación de estos sensores y su configuración dentro de la pista.

Por último, una vez completada la manufactura de la pista fue necesario llevar las pruebas iniciales que demuestren que el funcionamiento de la pista es correcto. Se tuvo que prestar especial atención a que no hubiera fugas de agua, los sensores funcionaran a tiempo y no se mojaran, y además que la recirculación del agua fuera lo más eficiente posible.

La última fase del proyecto fue la cuantificación de la eficiencia energética del PRT propuesto. Dentro de esta fase se cuantificó la energía utilizada para mover el carro tratando que fuera la menor posible. Se tuvo que considerar la energía de bombeo de agua, pérdida por fricción, y la energía utilizada por el sistema de sensores para obtener la eficiencia energética global del sistema.

Con los resultados obtenidos en cuanto a su eficiencia energética, se buscó realizar una contextualización y una comparación con sistemas de transporte actuales para mostrar el beneficio de la tecnología propuesta.

Por último, el funcionamiento del prototipo trató de ser grabado para poder documentarlo. El programa a utilizar para la edición del video sería iMovie. Este video también serviría para darle difusión al PRT con diferentes instituciones y en redes sociales, por lo que se tendrá que cuidar que fuera llamativo para el público.

Desafortunadamente, por limitaciones de tiempo y retraso en la compra de materiales, no fue posible terminar la construcción del prototipo, sino que solamente 3m estuvieron listos para la entrega final. No pudo ser probada, ya que los sensores en ningún momento fueron configurado. Además, el video no pudo ser grabado ya que no tenía sentido hacerlo si el prototipo no estaba en funcionamiento.

### **3.3 Cronograma o plan de trabajo**

A continuación, se presenta el cronograma con las actividades realizadas durante el proyecto:

Fase	Actividad	Fecha Inicio	Fecha Fin	Indicador/ Logro
Diseño	Diseño de propuesta de 6m	20/01/2017	15/02/2017	Espesor de cojinete, reacomodo de válvulas, cálculos.
Diseño	Investigación de sistema de frenado y elaboración de lista de materiales a utilizar.	27/01/2017	02/02/2017	Lista de materiales, definir sistema de frenado.
Diseño	Elaboración de renders de propuesta con sistema de frenado incluido. Cotización de componentes.	03/02/2017	10/02/2017	Plano de modelo en Solidworks
Diseño	Elección y cotización de componentes (sensores, válvulas, etc)	22/02/2017	02/03/2017	Cotización con precios y modelos específicos
Diseño	Compra de componentes	03/03/2017	09/03/2017	Materiales del prototipo
Construcción	Manufactura del prototipo	10/03/2017	09/04/2017	Prototipo funcional
Construcción	Instalación de sistemas electrónicos	01/04/2017	09/04/2017	Sensores funcionales
Construcción	Optimización del prototipo.	19/04/2017	25/04/2017	Pérdidas de energía eliminadas
Construcción	Ensamble final del prototipo	31/04/2017	03/05/2017	Prototipo funcional al 100%
Eficiencia energética	Grabación de video de resultados.	04/05/2017	05/05/2017	Videos cortos
Eficiencia energética	Cuantificación de energía dentro del sistema	06/05/2017	07/05/2017	Comparación energética con diferentes tipos de transporte
Eficiencia energética	Edición de video de resultados	08/05/2017	09/05/2017	Video general

*Tabla 2. Cronograma de trabajo - Prototipo Movilidad Tribológica*

En la Tabla 2 se muestra el desglose de las actividades realizadas a lo largo del semestre con sus periodos de duración. Las actividades que más tiempo requirieron fueron la selección y cotización de materiales a utilizar, así como la manufactura del prototipo. En rojo, se muestran las actividades que nunca llegaron a realizarse debido a que el prototipo no se terminó de manufactura por las razones previamente mencionadas.

#### **Capítulo IV. DESARROLLO DE PROPUESTA DE MEJORA**

La primera fase del proyecto consistió en retomar la información de la investigación realizada el semestre pasado sobre la tribología y la lubricación. Con base a esto se sentaron las bases de lo que se trabajaría a lo largo del semestre. Se determinaron las tareas a realizar como lo fueron la obtención de los cálculos para determinar el cojinete hidráulico y de las condiciones iniciales, como la presión necesaria de las válvulas, la velocidad del vehículo y la eficiencia energética del prototipo, uno de los principales objetivos del proyecto. Además, se confirmó que el agua continuaría siendo el fluido utilizado para el prototipo, así como las características con las que iba a ser realizado el prototipo de 6m.

Se utilizaron varias fórmulas para poder obtener los datos mencionados anteriormente, se usaron los datos que ya se conocían y se sacaron los cálculos por tramo de 10 cm en vez de por todo el prototipo ya que es nos da la facilidad de si se cambia la longitud del prototipo solo se multiplica el resultado hasta llegar a la longitud deseada.

Los datos iniciales que se utilizaron se muestran a continuación:

Tabla 2: Datos de diseño

Masa carro (Kg)	Ancho Tramo (m)	Largo Tramo (m)	Ancho Ranura (m)	Largo Ranura (m)	Longitud Carro (m)	Longitud tramo (m)	Película (m) (h)
0.096	0.08	0.1	0.05	0.007	0.15	0.1	0.0001
Peso Carro (N)	A1 (Tramo)	A2 (Ranura)	Tramo unitario	Peso Tramo U (N)	$\mu$		
0.94176	0.008	0.00035	1.5	0.62784	0.001007		

Utilizando los datos que se muestran en la tabla anterior, se calculó la presión que sería ejercida por el carro en cada tramo usando la fórmula:

$$P = \frac{W_{tramo}}{A_{ranura} + 0.5 * (A_{tramo} - A_{ranura})} \quad (1)$$

Una vez obtenida la presión se utilizó ese valor para obtener Qv, Qh y el Qtotal usando las fórmulas:

$$Q_v = \frac{P * a_{ranura} * h^3}{12 * \mu * l} \quad (2)$$

$$Q_h = \frac{P * l_{ranura} * h^3}{12 * \mu * l} \quad (3)$$

$$Q_{total} = 2 * Q_v + 2 * Q_h \quad (4)$$

Ya obteniendo estos valores se calculó la Potencia de bombeo requerida con referencia a la fórmula:

$$Pot_{bombeo} = P * Q_{total} \quad (5)$$

Después fue necesario calcular la potencia del vehículo, en este caso una lámina de acrílico, usando los datos de la primera tabla así como los de la siguiente:

Tabla 3: Potencia del vehículo

Velocidad (m/s)	coeficiente de fricción (kg/m*s)	Área fricción (m^2)
1	0.000955	0.00765

En primera instancia se tuvo que calcular la fuerza de fricción de la siguiente manera:

$$F_{fricción} = \frac{V * A_{fricción} * \mu}{h} \quad (6)$$

Una vez obtenido la fricción se sustituye el valor en la siguiente ecuación para obtener la potencia del vehículo:

$$Pot_{vehículo} = F_{fricción} * V \quad (7)$$

Y finalmente para poder conocer la potencia total requerida por tramo de 10 cms solo es necesario sumar la potencia de bombeo y la potencia del vehículo.

$$Pot_{total} = Pot_{bombeo} + Pot_{vehículo} \quad (8)$$

En la tabla que se presenta a continuación se muestra el condensado de los resultados del

diseño:

Tabla 4: Resultados de diseño

Presión (Pa)	Q total (ml/s)	Potencia bombeo (W)	Potencia vehículo (W)	Potencia total (W)
150.38084	0.038377615	5.77126E-06	0.0730575	0.073063271

También, se realizó la investigación del sistema de frenado. Dicha investigación se realizó a través de diferente bibliografía como lo es el sitio web del proyecto Hyperloop, la base de datos EBSCO y la plataforma en línea de investigaciones de la universidad de Masdar. Además, se consultaron a expertos en la materia como lo son el Dr. Alfredo Cueva y el Dr. Álvaro Gutiérrez. profesores de asignatura del ITESO. A través de las fuentes consultadas, se determinó que la forma óptima de frenar el vehículo es mediante frenado magnético debido a la alta eficiencia energética y bajo costo de mantenimiento. Un artículo que fue fundamental para llegar a esta conclusión fue realizado por el Masdar Institute titulado “PRT vehicle architecture and Control in Masdar City” en el que se detalla el gran beneficio de esta tecnología de frenado en PRT a comparación del frenado mecánico.

Posteriormente, se estuvo realizando la lista de materiales con base a las observaciones presentadas en la anterior versión de este documento donde se trabajó con un prototipo de 1m y que presentó algunas fallas en su manufactura y funcionamiento. La lista de materiales se elaboró en una hoja de cálculo en Excel y se detallaron las características físicas de cada uno de los elementos a utilizar. Dentro del Anexo 1, se puede encontrar dicha información.

A la par, se realizó el boceto del prototipo a mano y después se modeló en 3D utilizándose Solidworks. Dentro de este programa, se añadieron todos los elementos que conformarían el prototipo final de 6m como lo son drenajes, perfiles para sostener la pista de acrílico y brindarle portabilidad, sensores Arduino, sistema de recirculación de agua, por mencionar algunos. Además, se añadieron las propiedades físicas a cada uno de los materiales para obtener un modelo que reflejara la realidad del prototipo. El mayor reto enfrentado durante esta etapa consistió en brindarle al prototipo la portabilidad necesaria para poder trasladarlo de un lugar a otro cuando se requiriera. Esto se solucionó a través de perfiles arquitectónicos que sostuvieran la pista y dividir el tramo de acrílico en elementos de 1.5m de longitud.

A continuación, se presentan las imágenes del modelo en 3D de la pista:

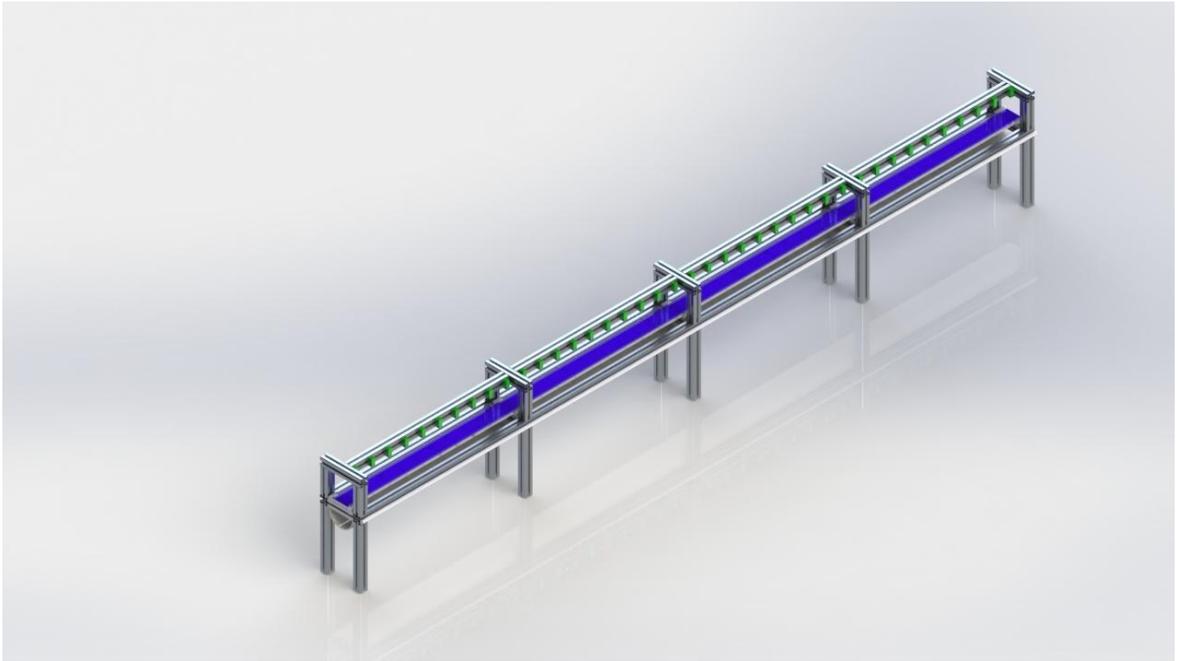


Imagen 4.1: Pista con estructura

En la imagen anterior se puede observar que la pista se encuentra dividida en 4 tramos de 1.5m cada uno. En cada tramo, se localiza un soporte creado mediante el perfil arquitectónico BOSCH. En la parte central superior de la pista, de color verde aparecen los sensores Arduino que se encargaran de abrir las válvulas solenoides. En la parte inferior de la pista, se encuentra un canal de PVC que se encargara de drenar el agua de la pista y conducirla a un contenedor para su almacenamiento y posterior recirculación.

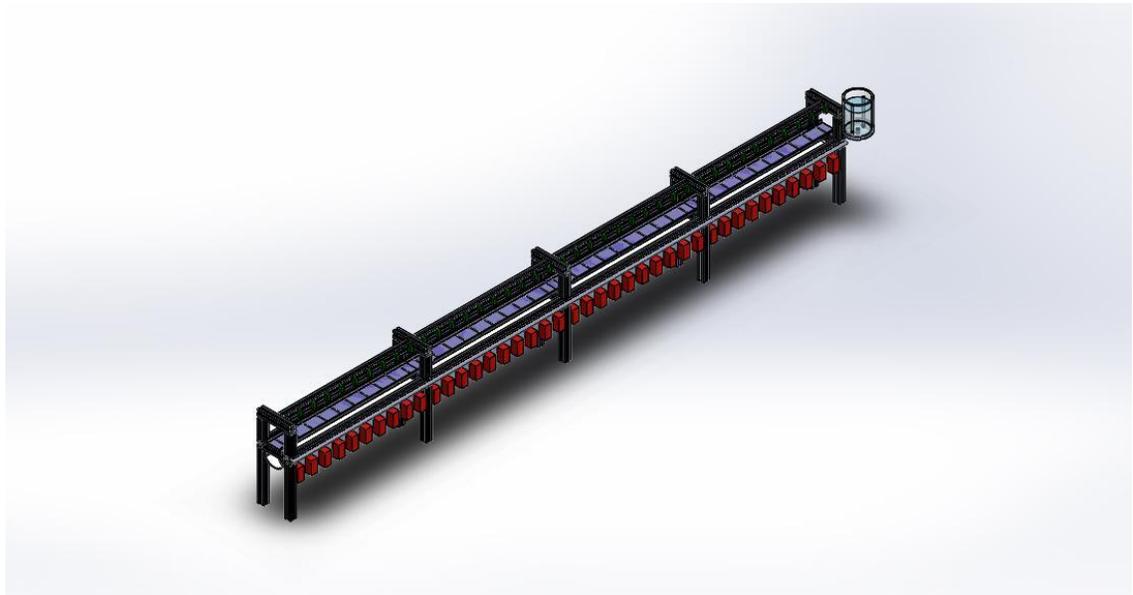


Imagen 4.2: Pista con estructura y base de sensores

En la imagen anterior, se incorpora el tanque de almacenamiento de agua que se encargara de surtir de líquido al sistema. Además, de color rojo se pueden observar las válvulas solenoides que inyectarán el agua al momento que el sensor Arduino detecte la señal de movimiento por parte del carro.

Después, se procedió con la elección de componentes y su respectiva cotización. Durante esta etapa, fue necesario visitar diferentes proveedores para investigar si contaban con productos que tuvieran las características necesarias para el prototipo. Dentro de los proveedores que se visitaron fueron plásticos EDCO para la lámina de acrílico, Marchina para los perfiles arquitectónicos, Zertuche para conexiones y mangueras, entre otros. A continuación, se detallan los proveedores de los materiales y su cotización:

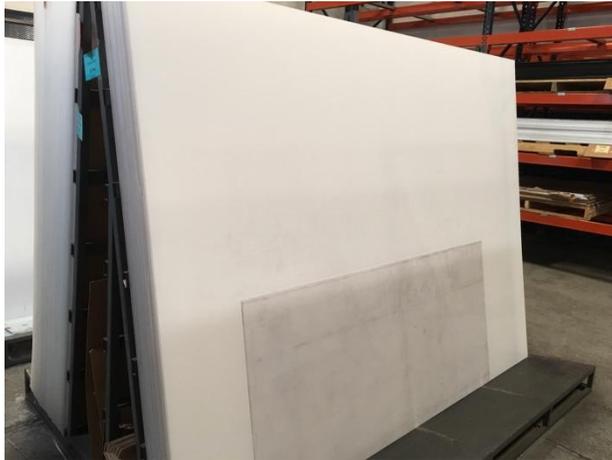
Codigo/Descripción	Cantidad	Precio Cotizado (Aproximado)	Proveedor donde se cotizo
Perfil BOSCH 40x40 mm tramo 6 metros	5	\$7,500.00	Marchina
Gussets con su respectiva tornillería M6 para perfil BOSCH de 40x40 mm	76	\$5,200.00	ITESO
Tapas para Perfil BOSCH de 40x40 mm	18	\$-	ITESO
Tubería PVC 6" tramo 6 metros Sanitario	1	\$500.00	Ferretería calzada

Tubería Acrílico 1" tramo 6 metros	1	\$1,000.00	Plásticos Edco
Sensor ultrasónico Hc-sr04, conexión para Arduino	60	\$1,800.00	Nosotros en loma bonita
Electroválvula Solenoide 1/4" para agua	50	\$12,500.00	Ya que nos funcionen bien, compramos, ya estoy investigando proveedores; deben costar como 250 cada una
Tarjeta Arduino MEGA Original	6	\$2,400.00	Nosotros en loma bonita
Lamina acrílico de espesor 12mm (1.83 metros x 2.44 metros o similar)	1	\$7,800.00	Plásticos Edco
Regulador de presión para agua 1/4" JA-A1000R	1	\$437.00	Sistemas y Servicios de automatización
Manómetro de baja presión para agua límite 60 psi	6	\$810.00	Sistemas y Servicios de automatización
Reductor 1/4" a 1/8" BUSHING	120	\$1,680.00	Zertuche
Conector Macho Prestolok (Conector Manguera) / 68PL 2 2	120	\$5,800.00	Zertuche
Manguera de 1/8" de diámetro exterior de 90 metros (Tubing Nylon) / PFT 2A	1	\$1,080.00	Zertuche
Lamina de acero calibre 11	1	\$1,000.00	ITESO
Bomba para agua (150 litros/hora, altura 50 centímetros)	1	\$500.00	Home Depot
Manguera De Silicón 10m y 4mm diámetro interior	1	\$55.00	Zertuche
		<b>\$50,007.00</b>	Costo Total

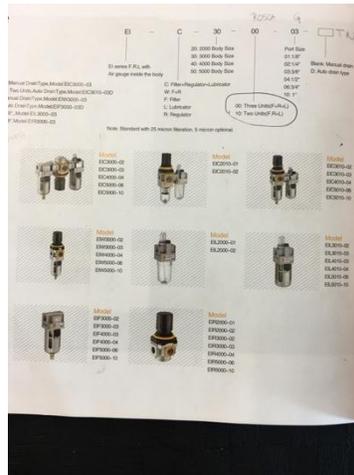
A continuación, se presentan algunas imágenes del proceso de cotización de los materiales:



**Imagen 4.3: Manguera de 1/8 diámetro exterior.** El tipo de manguera elegida para llevar a cabo las conexiones entre las válvulas y la pista.



**Imagen 4.4: Lámina de acrílico de 12mm de 1.83x2.44m.** A partir de esta lámina se realizaron los cortes para la construcción de la pista y los carriles correspondientes.



**Imagen 4.5: Manual de válvulas solenoides.** A través de este manual se pudo determinar el modelo a adquirir para el prototipo.

Una vez obtenida la cotización de los materiales a utilizar y ubicados con los proveedores, se procedió a realizar su compra. Este proceso se llevó a cabo a través de dos diferentes canales: el departamento de compra del ITESO y nosotros como estudiantes. El departamento de compras se encargó de todo lo que tuviera un costo superior a 2mil pesos como lo fueron los perfiles, gussets y lámina de acrílico. La razón de esto, es porque no se permite a alumnos meter facturas para su reembolso que superen dicha cantidad. En cambio, todo lo que tuviera un costo inferior a 2mil pesos fue adquirido por nosotros. Desafortunadamente, los retrasos durante esta etapa fueron significativos.

Llegado el material a nuestras manos, se procedió a realizar los cortes pertinentes para los perfiles de aluminio y la lámina de acrílico. Los perfiles de aluminio de 6m se cortaron dentro del departamento de diseño a través de un disco de corte. Los cortes tuvieron diferentes longitudes: 10 elementos de 15cm, 7 de 1.5m, 6 de 23cm y 8 de 1m. Por otra parte, la lámina de acrílico fue cortada a la mitad de forma vertical dentro de la universidad para poder trasladar a Arquimaquetas y realizar los cortes correspondientes conforme al diseño de la pista. En total se tuvieron 4 tramos de pista de 1.5m, cada uno con una entrada y salida para poder ser conectada entre cada una de ellas. También, se cortaron 8 paredes, 2 para cada una de las partes de la pista con una longitud de 1.5m.



Imagen 4.6: Conexiones de la pista

Los perfiles se fijaron con los gussets adquiridos y la tornillería correspondiente. En la parte d en medio de los perfiles, se agregó un trozo de perfil para sostener la pista de acrílico y así poder eliminar el pandeo de este. En la parte central superior, también se agregó un tramo de perfil para fijar los sensores de movimiento sobre este.

Las conexiones de las válvulas solenoides estuvieron hechas con varios elementos. De un lado se utilizó una conexión T de PVC que daba al filtro de la válvula y del otro una conexión T de plástico de color naranja. A ambas conexiones se les agregó cinta teflón para evitar que se presentaran fugas dentro de las conexiones. En la T de PVC, se añadieron tubos de PVC 5cm de longitud para realizar la conexión de todo el sistema. A estos se les agregó un pegamento para evitar fugas. Por otro lado, se necesitó una reducción de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{8}$  y después se agregaron mangueras con diámetro de 2mm y longitud de 15cm que fueron conectados a los orificios dentro de la pista. Esto se sujetaron mediante la presión que ejercía el propio sistema.

Una vez realizado el proceso anterior, se procedió con agregar una lámina de lado lateral derecho de los perfiles de aluminio para sujetar las válvulas a este. A través de cinchos y perforaciones cada 9cm, fue como se sujetaron las válvulas al sistema.



Imagen 4.7: Prototipo con válvulas

Por otro lado, a los sensores se les soldaron sus cuatro cables para realizar sus conexiones al controlador Arduino. Las partes laterales del sensor se conectaron en las primeras dos posiciones de la protoboard, y los otros dos se conectaron a las posiciones 22 y 23 de la tarjeta Arduino. Después, del lugar dos de la tarjeta Arduino, se conecta a la primera posición del protoboard, y después de colocó la resistencia sobre la misma fila de la posición del cable. Después, el transistor se conectó sobre la misma fila, y después uno de los cables va a ña válvula, y el tercero va a tierra. Por último, el otro cable se conecta al positivo del protoboard.

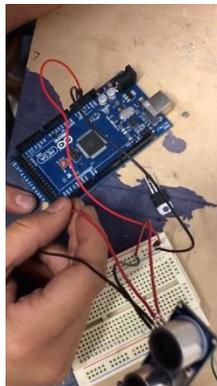


Imagen 4.8: Sensores y tarjeta Arduino

La pista fue dividida en 2 tramos, cada uno de 3m para su construcción independiente y al final estos fueron unido a través de gussets. El canal para recircular el agua fue colocado en la parte inferior de la pista de acrílico con una inclinación de 8 grados para generar una pendiente y hacer que el agua fluyera al recipiente donde se encontraba colocada la bomba sumergida.

## Capítulo V. PRODUCTOS, RESULTADOS E IMPACTOS GENERADOS

En los productos obtenidos en este semestre fueron los cálculos del cojinete hidráulico, los planos detallados en Solid Works de la pista, estructura, así como las condiciones iniciales para que el carrito pudiera deslizarse en la pista con el menor desperdicio posible de agua que en este caso es la eficiencia energética.

Otro de los productos y el más importante fue el de el prototipo de seis metros que contiene 120 ranuras, 2 ranuras por válvula solenoide que están conectadas con reducciones a una manguera de 1/8" que van conectadas a las válvulas solenoides y estas válvulas son activadas por medio de un controlador que está conectado a un sensor de ultrasonido que capta el momento en que el carrito pasa por ese punto y acciona la válvula correspondiente, de modo que se vaya formando una película constante debajo del carrito y este con el impulso inicial pueda perder la menor energía posible y moverse de un punto a otro. Estas válvulas están conectadas a una manguera de 1/4" que viene de una bomba sumergible.

Dentro de los resultados alcanzados el mayor fue el de poder comprender y concretar la idea del prototipo de seis metros a base de la lubricación por medio de la tribología, ya que se necesitaba aterrizar los conocimientos y el marco teórico obtenido al principio del proyecto, para poder entender y modificar las características o condiciones iniciales del proyecto, como la cantidad de ranuras en la pista, la presión de la bomba, el diámetro de las ranuras provenientes de las válvulas solenoides y la cantidad de válvulas necesarias, así como analizar los posibles cambios que pudieran ocurrir al incrementar el tamaño del prototipo con respecto al del semestre pasado.

Se observó que uno de los principales retos, al igual que el semestre pasado, tuvo que ver con la calibración y las pruebas del sistema para que el prototipo pueda actuar a lo esperado, es la sincronización y calibración de el impulso inicial con la apertura de las válvulas y la película que se genera por la tensión superficial del agua y la pendiente que se genera por las imperfecciones de la pista. Los retos que quedan pendientes es crear un sistema automatizado que haga funcionar este prototipo sin necesidad de alguna intervención humana, así como la implementación de un sistema de respaldo, que en este caso se sugiere sea uno de levitación magnética, para ser usado solo en caso de cuando no sea suficiente la presión que ejerce el agua o cuando se le tenga que dar mantenimiento a la pista.

## Capítulo VI. APRENDIZAJES INDIVIDUALES Y GRUPALES

## 6.1 Aprendizajes profesionales

A través de este proyecto, se pudieron desarrollar diferentes competencias en cada uno de los integrantes. En común, se puede decir que la competencia más importante desarrollada fue el trabajo en equipo multidisciplinario, esto permitió aprender a escuchar los diferentes puntos de vista de los integrantes del equipo poder llegar a acuerdos en común que satisficiera a todos. Fue muy enriquecedor poder escuchar opiniones propias de cada ramo de la ciencia, como la mecánica, civil, electrónica y ambiental y un gran reto hacer que todas coinciden en un producto final, la propuesta tribológica de transporte.

Además, se pudo experimentar la negociación, que seguramente se llevará a cabo cuando se salga de la universidad al trabajar en proyectos multidisciplinarios, donde difícilmente se llegarán a acuerdos en común de forma sencilla, sino que hay momentos en los que se tiene que ceder y aceptar que aunque la idea de uno es muy buena, en la práctica no es viable llevarse a cabo por razones económicas, sociales o ambientales.

La comunicación fue otra habilidad desarrollada y se pudo observar que es vital para alcanzar metas en común como lo fue el proyecto. Aunque existan muchos medios actualmente de comunicación, pocas veces se lleva de forma efectiva. Fue una gran experiencia haber trabajado en Asana, ya que permitió tener claras las tareas de cada integrante del equipo y en caso de que existiera un retraso conforme a la ruta crítica, se comunicaba inmediatamente al resto de los integrantes del equipo para que pudiéramos apoyar a sacar esa tarea adelante lo antes posible y no causar retrasos que afectaron a más actividades que pudieran poner en riesgo el proyecto.

La organización se volvió vital para alcanzar los objetivos propuestos y fue de gran utilidad tener un desglose de actividades según los productos entregables. En general, se respetaron los tiempos de reuniones, entregas y revisiones, lo cual hizo que el equipo funcionará de forma correcta.

Para todos en el equipo fue muy significativos los aprendizajes que se obtuvieron de las distintas áreas: mecánica, electrónica, civil y ambiental.

Respecto al área de mecánica, se puede decir que los aprendizajes más relevantes se tuvieron en el área de las definiciones de conceptos, cálculos para el diseño del cojinete hidráulico y de la pista en general. Conceptos como tribología y cojinete hidráulico no se habían escuchado anteriormente y sirvieron para entender de mejor forma muchos fenómenos que vivimos diariamente pero que no habían sido relacionados con la física ni con las matemáticas. El poder aplicar fórmulas y conceptos mecánicos en un producto concreto, sirvió para que se tuviera una visión distinta al área ingenieril y que sentaran las bases para proyectos futuros como la creación de turbinas eólicas en el caso ambiental, controladores electrónicos en automóviles en el caso electrónico, y en el aspecto civil, elevadores en grandes construcciones.

Respecto al área civil, los aprendizajes más importantes estuvieron relacionados con los materiales de construcción y la conceptualización del prototipo. Sin duda alguna, el haber aprendido acerca de los diferentes materiales que existen y sus resistencias, será de gran ayuda para el equipo una vez graduado ya que en cuestiones ambientales se podrá aplicar para el diseño de hogares sustentables seleccionando los materiales adecuados para su construcción. En cambio, en el ámbito electrónico estos conocimientos podrán ser aplicados en la aplicación de sistemas embebidos dentro de hogares para convertirlos en "inteligentes". Por último, en el ámbito mecánico se podrá aplicar al diseñar propuestas de mejora para la movilidad en las

grandes ciudades mediante la elección de materiales que aumenten la vida útil de los sistemas de transporte y disminuyan la pérdida energética debido a fricción.

En el campo de la electrónica, se aprendió el diseño de sistemas embebidos y lo importante que son actualmente y serán en un futuro. Se pudo observar el gran reto que supone la automatización en la vida real y las grandes posibilidades que se abrirán cuando actividades tan sencillas como la movilidad, sean automatizadas, esto supondría un gran ahorro de energía y tiempo. Se vio que en el ámbito ambiental el uso de sistemas automatizados en hogares, movilidad y proceso dentro de las industrias, tiene un impacto muy significativo para la eficientización de recursos. En el ámbito mecánico, se vio que estas dos ramas deben de trabajar más en la mano para lograr soluciones que sean adecuadas para los retos que se presentan en el siglo XXI, especialmente en la manufactura de diversas industrias como la automotriz, alimentaria o energética.

Fue observada la gran relevancia del ámbito ambiental en todas las disciplinas al diseñar el prototipo y entender la necesidad y relevancia de este. Se pudieron comprender los problemas que día a día se enfrentan en una ciudad tan grande como es la movilidad, contaminación, y las enfermedades que esta última causa. En cuestiones mecánicas, se observó una gran oportunidad que se tiene actualmente en la eficientización de la movilidad y los grandes retos que esto supone. En el ámbito civil, se comprendió la necesidad de materiales que supongan una vida útil más larga y que cuenten con menor impacto en su huella de carbono. Por último, en el ámbito electrónico se observó la necesidad de reciclar los residuos electrónicos y diseñarlos con el mayor periodo de vida útil posible al momento de utilizarse en hogares inteligentes, sistemas de salud o sistemas de movilidad.

Otro gran reto enfrentado, fue adaptar las ecuaciones que fueron diseñadas para un escenario ideal, al mundo que no lo es. Esto supuso considerar diferentes aspectos que generalmente durante clases no se toman en cuenta como es las pérdidas energéticas por los materiales en si, la interacción entre 2 medios distintos como lo son el aire y el agua, por mencionar algunos.

Todos los aprendizajes mencionados anteriormente, supondrán una ventaja competitiva al graduarnos, ya que abrieron nuestra visión para enfrentar diferentes problemas que actualmente se abordan de formas separadas según áreas de estudio, pero que debería de abordarse como una sola para llegar a la raíz del problema.

## **6.2 Aprendizajes sociales**

A través de este documento, se abrió el panorama para replantearse si los medios por los cuales se desplaza la población en la ZMG son los adecuados. De aplicarse la propuesta de movilidad tribológica aquí presentada, se mejoraría la calidad de vida de las personas al reducir el tiempo que pasan atorados en el tráfico. Se tendría un sistema automatizado en el que el usuario tenga el control sobre el momento en el que quiera tomar el transporte sin estar esperando debajo de una parada por largo tiempo y donde la seguridad el usuario sea prioridad. Sin duda, este sistema de transporte es algo revolucionario que abriría las puertas no solo a su aplicación en la ZMG, sino a más ciudades de México y del mundo.

Uno de los puntos más importantes de la propuesta es que está diseñado para personas de cualquier nivel

socioeconómico, por lo que no es una tecnología discriminatoria, como el automóvil. Abriría las puertas para retomar espacios públicos que actualmente se utilizan para movilizar automóviles y adaptarlos a zonas que sirvan para integrar a la sociedad como lo son parques, museos o gimnasios públicos. Sin embargo, uno de las deficiencias que tiene en su diseño es que no está pensado para personas que cuenten con alguna discapacidad motriz, lo cual debería de trabajarse en un futuro ya que, de llevarse a cabo, tiene que ser útil para toda la población.

Lo más innovador de nuestra propuesta es que, pese a que la tribología es un fenómeno conocido desde hace mucho tiempo, apenas en las últimas décadas se está analizando su aplicación a los sistemas de movilidad urbana, y en el prototipo realizado se muestran los grandes beneficios de eficiencia energética y la sustentabilidad de este.

Dentro de la ZMG, sería una tecnología totalmente innovadora que rompería con los esquemas de movilidad con los que se ha venido trabajando en las últimas décadas. Además, a eficiencia energética con la cual fue diseñado servirá para cuidar los recursos naturales, además de evitar emisiones de contaminantes a la atmósfera como material particulado, benceno y CO. Debido a la reducción de emisiones, la salud de la población mejoraría considerablemente.

Sin duda la experiencia que se ganó al comenzar un proyecto desde cero, servirá para el desarrollo de las ideas que cada uno de nosotros dentro del equipo tenemos. Es sumamente importante tener definidos los objetivos del proyecto, así como sus alcances, para poder ir trabajándose a lo largo del tiempo. El poder analizar las diferentes opciones que se tenían, desde seleccionar los materiales adecuados para crear el prototipo, sirvió para aprender la importancia de este paso al momento de tomar decisiones, siempre tiene que verse más allá como los impactos económicos, sociales y ambientales que puede tener nuestra decisión y no nada más quedarse como una decisión simple.

El involucrarnos en este proyecto, nos sirvió para cuestionarnos aspectos básicos de la organización en las ciudades, como lo es la movilidad. Diariamente, pasamos una gran parte de nuestro día atorados en el tráfico, existen horas a las cuales ni queremos salir de nuestra casa ya que significa estar parados en el automóvil en alguna gran avenida. El transporte público actualmente es visto para como la opción para la gente que no tiene dinero, no te brinda estatus social. Los conductores de los camiones son atrabancados, no respetan señalamientos ni ciclistas e incluso, ni al peatón. Esta es la triste realidad de la segunda ciudad más grande de México, la cual vimos que puede ser transformada si el gobierno decide actuar. Los ingenieros mexicanos están capacitados para resolver esta problemática y la opción aquí presentada, es una opción viable para hacerlo.

En los próximos semestres, los estudiantes que se encuentren involucrados dentro de este PAP, se encargará de pulir el diseño y construir un prototipo de mayor tamaño para poder obtener resultados más exactos que permitan la construcción de la propuesta a presentar ante instancias gubernamentales. Ellos tendrán que encargarse de cuantificar los beneficios sociales que se obtendrían en el corto, mediano y largo plazo por lo cual la construcción del PRT tribológico sería la opción viable para resolver los problemas de movilidad.

Los saberes aquí presentados podrían ser de utilidad a otras instituciones educativas ya que marca un precedente en la búsqueda de la implementación del PRT en México. Sería interesante presentar en un futuro la propuesta realizada a otras universidades para que ayuden a perfeccionar el diseño y obtener sus puntos

de vista. Podríamos motivar a que más gente se interese por el tema y este comience a tomar fuerza en medios técnicos y de comunicación que sirvan para respaldarla.

### **6.3 Aprendizajes éticos**

Las principales decisiones que se tomaron en este PAP estuvieron relacionadas a cuestiones técnicas. Desde su conceptualización se intentó que este medio de transporte estuviera pensado para las personas de cualquier nivel socioeconómico. Lo que busca es que las personas de nivel alto, vean al PRT tribológico una opción segura y cómoda a utilizar en sus desplazamientos diarios a centros de trabajo, recreacionales, entre, otros.

La sustentabilidad del proyecto fue uno de los principios básicos utilizados en el diseño de la propuesta. En la aproximación de los materiales utilizados, se intentó que estos tuvieran una duración prolongada y su huella de carbono fuera lo más baja posible, sin embargo, eso se comprobará en próximos semestres donde se realice la huella de carbono general del proyecto. Además, se trató que el uso de agua, un recurso escaso en gran parte de la población, fuera el menor posible mediante su recirculación en el sistema. Dentro de la propuesta, está considerado que cuente con un filtro que se encargue de mantener esa agua en condiciones óptimas para el funcionamiento del PRT, así que no se necesitaría un mayor consumo del recurso más que el inicial. La razón por la cual se diseñó de una forma sustentable fue debido a la necesidad de cuidar los recursos hídricos y naturales para asegurar tenerlos disponibles en un futuro. Lo anterior repercutirá en la calidad de vida de las personas, ya que no sería justo quitarle a un sector de la población agua para que esta fuera utilizada para la operación del PRT. Por último, otro factor que se tomó en cuenta es que fuera lo más económico posible pero funcional. La razón de hacerlo económico es para que en vez de que se gasten grandes cantidades de dinero en un sistema como el tren ligero, este pueda reducir costos y el sobrante se pueda destinar para la mejora de diferentes servicios públicos como lo son los de salud y educativos.

La experiencia vivida nos invita a pensar siempre en la población que tiene menos recursos, ya que solamente si se enfocan todos los esfuerzos en ellos, se podrá tener una sociedad más equitativa donde todos tengamos las mismas posibilidades. A través, de esta experiencia reflexionamos sobre la trascendencia que pueden llegar a tener nuestras decisiones en un futuro cuando tengamos un trabajo en el cual nuestras decisiones puedan afectar a diferentes sectores de la población. En cuestiones civiles, se tiene que tratar de que las construcciones se realicen con los mayores estándares de seguridad para no poner en riesgo la integridad de los usuarios que vivan dentro o hagan uso de ese edificio, puente u otro. En el tema mecánico, es esencial pensar en que el usuario final que utilice los sistemas mecánicos diseñados por nosotros, sean simples de usar, tengan una vida larga y sean económicos para que así pueda estar satisfecho del resultado. Respecto al tema electrónico, se tiene que pensar en que los sistemas electrónicos sean fiables para disminuir el riesgo de accidentes en el futuro, ya que, si se sigue la tendencia, viviremos en un mundo donde encontraremos chips por todos lados. Por último, ambientalmente se tiene que hacer un uso racional de todos los recursos para no afectar a las futuras generaciones.

A cada uno de los integrantes del equipo nos abrió un amplio panorama de posibilidades de trabajo al graduarnos ya que este proyecto al ser multidisciplinario, nos permite tener aprendizajes en el área electrónica, civil, mecánica y ambiental. Principalmente, pudimos experimentar lo que conlleva realizar una investigación por lo que podríamos laborar en una institución gubernamental o privada encargada de desarrollo de tecnologías en cualquiera de los ámbitos mencionados. Relacionado con el tema ambiental, se

abrió la puerta en instituciones gubernamentales como la SEMADET a nivel estatal o SEMARNAT a nivel federal para implementar medidas que sirvan para mejorar la calidad del aire en las metrópolis. Además, en la Secretaría de Comunicación y Transportes (SCT), se podría encontrar un trabajo que involucre la investigación o adecuación de tecnologías con el menor impacto negativo posible sobre el medio ambiente. Otra opción, son las grandes empresas tecnológicas que poco a poco ven como la industria automotriz tiene que adaptarse al siglo XXI y dejar de depender de combustibles fósiles, por lo que podría encontrarse una oportunidad en empresas como Tesla Motors.

En el área de ingeniería civil este proyecto nos permitió ver que el tema de movilidad actualmente está totalmente inclinado al automóvil y la infraestructura que se le invierte a este, desde las carreteras, puentes, calles, pasas a desnivel hasta en la manera de preparar la ciudad a futuro para darle prioridad a este tipo de transporte. Una de las cosas muy importantes que nos abrió el panorama es este nuevo enfoque de las sociedades que quieren ser parte del cambio y no aportar a la movilidad motorizada privada como la es el automóvil, ya que las ciudades no dan más abasto para la creciente población y que en los próximos años será inevitable tener que cambiar de transporte y es indispensable empezar a apostarle a la movilidad colectiva o pública para poder aprovechar los espacios públicos y hacer del uso del transporte lo que significa, solamente desplazarse de un lado a otro sin necesidad de ocupar tanto espacio y contaminar tanto. La cantidad de dinero que se emplea para las obras de infraestructura en la ciudad es extremadamente alta, y esto fácilmente podría utilizarse a invertirse en transporte público y colectivo en lugar de seguirle apostando a el principal enemigo del medio ambiente que tanto nos está repercutiendo. Gracias a esto muchas empresas y sociedades están apoyando este tipo de proyectos que pueden cambiar el enfoque que se tiene de transporte, y es una oportunidad para los ingenieros civiles para entrar en este importante cambio de la sociedad que tiene un futuro y se le estará invirtiendo en los próximos años por su importante relevancia con el medio ambiente.

En cuanto al tema mecánico se nos presentó la oportunidad de observar que como se pueden crear e innovar nuevos sistemas de transporte público usando

En el área de la electrónica, se resalta que gran parte del desarrollo sustentable depende un sistema automatizado que tenga la capacidad de adaptar nuevas tecnologías para el desarrollo adecuado. Existen bastantes tecnologías a nuestro alcance, pero uno de los principales retos que enfrenta un sistema es el poder adaptar estas nuevas tecnologías; la automatización debe resolver esta problemática. Cuando se piensa en automatización, no debe pensarse en que un software debe hacer todo de forma autónoma, sino que es un software que facilita la interacción entre personas y máquinas.

## **6.4 Aprendizajes en lo personal**

### **Alejandro López**

El PAP me sirvió para darme cuenta que todos los conocimientos aprendidos a lo largo de mi carrera se unen en algún punto para lograr proyectos que mejoren la calidad de vida de las personas. Antes me cuestionaba

cuál era la importancia de que en mi plan de estudio estuvieran ciertas materias que yo no consideraba relevante, sin embargo, esta experiencia me abrió los ojos de que todos los conocimientos aprendidos se utilizan en algún momento. Aprendí que soy capaz de planear proyectos partiendo desde cero, desarrollarlos y ejecutarlos. Pude ver la importancia de la comunicación de los resultados de forma clara y precisa, lo cual se realiza a través de una presentación ejecutiva.

Esta experiencia que viví durante cuatro meses me ayudó a darme cuenta de que hay muchas cosas por hacer aún si se quiere alcanzar la sustentabilidad. Para empezar, el cambio de paradigmas, el cual será el más complicado por realizar. Al momento de platicar a compañeros y amigos acerca del proyecto en el cual estaba trabajando muchos lo veían como algo muy futurista y casi imposible de realizarse, sin embargo, al término de este semestre puedo decir que cada vez está más cerca. Por lo menos, ya se comprobaron que los principios con los cuales está diseñado el PRT son funcionales y abrirán la posibilidad en un futuro a más tecnologías de este tipo.

El trabajar en un equipo multidisciplinario me permitió tener reto intelectual para adecuar las propuestas ambientales con intereses de otras áreas sin ver comprometida mi ética profesional. Sin duda alguna creo que siempre hay que estar abiertos a las opiniones de los demás, ya que muchas veces podemos pasar por alto algo que para nosotros no es obvio, pero para los demás sí. A veces puede ser complicado coincidir con opiniones de otras personas, pero se tiene que estar dispuesto a negociar para alcanzar objetivos comunes. Justo eso, me hizo reflexionar acerca de la situación gubernamental que se vive actualmente en el país donde cada secretaría trabaja por su cuenta cuando deberían de tener una comunicación estrecha para resolver problemas tan complejos como lo es la educación, pobreza o el medio ambiente. Es del trabajo de un equipo diverso donde sale la verdadera innovación, ya que esta última conlleva impactar positivamente la vida de las personas de todas formas posibles.

Me sirvió para reconocer la situación tan favorable que tenemos dentro de nuestra universidad, pero lo diferente que es fuera de ella. Me hizo reflexionar sobre la obligación que tenemos con la sociedad, especialmente los que menos tienen, de tratar de ayudar su calidad de vida asegurando igualdad oportunidades para todos. El que esté a punto de terminar mi carrera en ingeniería ambiental y haber realizado este PAP, me motiva a seguir investigando más acerca de las áreas de oportunidad gigantescas que tenemos en el tema de movilidad, lo cual creo que significa el estudiar una maestría en un tema relacionado con este. Además, el poder haber trabajado con un equipo multidisciplinario, me motivó a seguir aprendiendo más y más. Seguiré investigando acerca de la ciencia de la tribología porque creo que se podría aplicar en cuestiones de agricultura en el transporte de alimentos a las grandes urbes. La construcción de sistemas electrónicos y su programación fue otro tema de mi interés ya que me hizo reflexionar sobre cómo se podrían eficientar muchos procesos a través de la tecnología electrónica y los grandes ahorros que supondría tenerlos implementados en el transporte de agua mediante tuberías para detectar fugas, por ejemplo.

Sin duda alguna, fue una experiencia integradora de conocimientos, habilidades y aptitudes. Creo que estoy mucho mejor preparado y tengo mayor confianza en que podré lograr cosas espectaculares cuando me gradúe. La asesoría brindada y el feedback obtenido en estos cuatro meses me servirán desde el primer momento que comience a laborar como ingeniero ambiental.

**Daniel Suárez Martínez**

Este proyecto PAP me ayudó a poner en práctica todos los conocimientos que he adquirido a lo largo de mi carrera en un proyecto que tiene una gran relevancia a nivel ambiental, económico y social. Durante el desarrollo de este proyecto me di cuenta de lo que sucede a mi alrededor y de cómo puedo aportar para lograr que pueda ser benéfico para la sociedad, así como para mí mismo. Me di cuenta de que no podemos seguir ignorando lo que pasa a nuestro alrededor, que el hecho de que pensemos que lo que pasa no nos afecta es mentira. Esto lo pude observar claramente mientras realizamos la investigación previa del PAP y descubrí lo mucho que estamos dañando al medio ambiente con nuestras acciones del día a día, y como esto tiene que cambiar y es nuestro deber hacer algo para cambiar la situación actual. Es necesario innovar e implementar nuevas ideas y formas para lograr un objetivo, en especial cuando el camino para lograr el objetivo puede tener efectos negativos en la sociedad. También me sirvió para darme cuenta de toda la investigación y el proceso que se debe de llevar cuando se quiere realizar o implementar un proyecto a gran escala.

Otra cosa que sucedió en este semestre es que fue logré trabajar y colaborar con personas de otras carreras, carreras con las cuales antes muy rara vez había convivido y/o realizado algún proyecto. Esto causó que adquiriera más conocimiento de cada una de estas carreras, así como diferentes formas de ver un mismo problema o situación. Me di cuenta de que existen varias soluciones para un mismo problema y que si en un problema tu no encuentras la solución al contar con un equipo de trabajo es posible encontrar dicha solución y esta puede ser implementada de una manera más eficiente. Es importante darse cuenta de que todos nos complementamos entre todos, de que un proyecto es muy difícil de sacar adelante cuando solo una persona de una sola carrera intenta realizar todo, es necesaria la cooperación entre los integrantes para lograr un mejor resultado.

Lo que se vivo durante este semestre sin duda alguna nos va ser de gran ayuda en nuestro futuro laboral ya que, al solo ser dos personas involucradas originalmente en el proyecto, me di cuenta que aunque se tenga la confianza de que con un cierto número de personas se puede sacar adelante un proyecto, no está demás pedir ayuda o apoyo y/o reconocer que se cometió un error al asignar a tan pocas personas a un proyecto tan complicado y tardado.

## **Capítulo VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

El proyecto este semestre se llevó a cabo de forma parcialmente exitosa. La razón de lo anterior es que se terminó de diseñar el prototipo, se realizaron las compras de los materiales y se llevó a cabo su construcción a un 90%, sin embargo, no pudo ponerse en funcionamiento ya que no fue terminado.

Se pudieron determinar las características del sistema como lo fue la película hidráulica esperada con la cual se espera la mayor eficiencia energética la cual fue de 0.1mm. Tendrá que comprobarse que la película obtenida en la pista en su funcionamiento sea la misma, sino las pérdidas energéticas aumentarán. También, la potencia de la bomba fue posible determinarse dando como resultado 0.3hp.

Otro punto a favor, es la portabilidad que el prototipo realizado puede tener debido a que se puede separar en tramos lo que le permite ser transportado a diferentes instituciones para difusión o su perfeccionamiento.

Analizando la situación vivida este semestre, se pudieron detectar varias áreas de oportunidad. La principal es que se debe de poner atención especial al momento de llevar a cabo las compras, porque todas se deben de realizar a través del departamento de compra dentro de la universidad, y esto puede retrasarse de aquí a que encuentran el proveedor adecuado, realizan la orden de compra, o llega el material a la universidad. Además, otro gran problema es que los materiales no lleguen con las características requeridas, tal como sucedió con los gussets y tornillería de los perfiles. Lo que se recomienda, es que se les dé la oportunidad a los alumnos de realizar las compras.

Por otro lado, el corte del acrílico retrasó en gran parte nuestras actividades por no poder llevarse a cabo dentro de la institución por las políticas de esta. A la par, el no haber tenido un espacio para comenzar a construir el prototipo cuando se solicitó, retrasó la manufactura del equipo por dos semanas y media, las cuales resultaron cruciales para la terminación del prototipo.

El tener los materiales de alta calidad dentro del prototipo permitirá cuantificar la energía dentro del sistema cuando esté en operación y analizar si es un sistema de transporte viable en la ciudad de Guadalajara o en alguna parte del mundo. Sería interesante realizar las comparaciones energéticas con otros sistemas de transporte actuales como lo es el Tren Ligero en Guadalajara, el PRT de la ciudad de Masdar, o el Metro en la Ciudad de México.

De tenerse un resultado positivo en el análisis sugerido anterior, tendría que crearse un prototipo de mayor escala el cual permite ver en funcionamiento el principio y analizar su viabilidad para la implementación de este en alguna ciudad. Las mayores limitantes que se tienen son el alto costo del sistema de automatización que esté debería de tener para evitar choques o desperfectos dentro de los vehículos. También, es importante mencionar que el prototipo realizado solo funciona si se tiene una superficie plana y no considera curvas, ya que esto rompería la película de agua y frenaría el vehículo. Para resolver esas limitantes, podría analizarse la implementación de un sistema mecánico.

## **Recomendaciones**

Las principales recomendaciones que se brindan van ligadas respecto a los recursos humanos y de tiempo.

Respecto a recurso humanos, se recomienda que el equipo de personas que esté involucrado dentro del proyecto sea por lo menos de 5 personas, y que esté incluido por lo menos una persona de electrónica o sistemas. La razón de esto es que se necesitan muchas manos involucradas 100% en el proyecto, y pese a que se pueda tener asesoría de personas externas, esto no es lo recomendable ya que seguramente en algún momento podrá interferir con su agenda. Se sugiere involucrar a estudiantes de diferentes áreas para la construcción del prototipo, ya que se observó que todos pueden aportar un poco según sus conocimientos.

En cuestiones de tiempo, el llevar un cronograma es de bastante utilidad pero si algo llega a fallar por cuestiones externas, esto puede afectar fuertemente la ruta crítica del proyecto. Lo recomendable es que los tiempos no estén tan apretados, como se realizó al inicio de este semestre. Y de hacerla así, asegurarse que todas las partes involucradas estén dispuestos a cumplir con los deadlines.

Por otro lado, respecto al funcionamiento es necesario mencionar que se tiene que tomar especial atención al momento de configurar los sensores con un margen de por lo menos un cm, ya que sino este podrá detectar el agua, tal como se vio durante este semestre.

Es recomendable llevar el prototipo a exponerse en ferias de ciencias o eventos relacionados con medios de transporte para difundirlo y conseguir inversionistas que puedan estar interesados en aplicar la tecnología desarrollada al mundo real.

### **Referencias bibliográficas.**

Air Quality Expert Group. (2005). *Particulate Matter in the United Kingdom*. Londres: Department for Environment, Food and rural Affairs.

Banco de Desarrollo de America Latina . (2011). *Desarrollo Urbano y Movilidad en America Latina*. Panama: Banco de Desarrollo de America Latina.

Batchelor, A. W., & Stachowiak, G. W. (2005). *Engineering Tribology (Third Edition)*. Butterworth-Heinemann.

Bhushan, B. (1999). *Principles and Applications of Tribology*. United States of America: John Wiley & sons, inc. .

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D.F.: Mc Graw Hill.

Colectivo Ecologista de Jalisco. (2012). *Más de una década de aire sucio en nuestra ciudad, 2000-2010*. Recuperado el 30 de enero de 2017, de [www.airedecalidad.org](http://www.airedecalidad.org)

DANTE CANTONE. (2008). *Implementacion y Debbinging*. Buenos Aires: MP Ediciones.

Dediu, H 2015 *The Entrant's Guide to The Automobile Industry*. Asympco <http://www.asympco.com/2015/02/23/the-entrants-guide-to-the-automobile-industry/>: 02/05/2016.

Department for Business Innovation and Skills. (13 de febrero de 2017). *Automotive Industry*. Obtenido de [www.bis.gov.uk/policies/business-sectors/automotive](http://www.bis.gov.uk/policies/business-sectors/automotive)

Estevan, A y Sanz, A 1996 *Hacia la reconversión ecológica del transporte*. La Catarata, Madrid

Frank L , A., & Schimd, T. (2004). *Obesity relationships with comunity design, physical activity, and time spent in cars*. Am J Prev med.

Fuller, D D 1956 *Theory and practice of lubrication for engineers* John Wiley and Sons, New York, London, Sydney.

Gakenheimer, Ralph. (1998). Los problemas de la movilidad en el mundo en desarrollo. EURE (Santiago), 24(72), 33-52. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71611998007200002>

Hamrock, B. J. (1994). *Fundamentals of Fluid Film Lubrication*. Estados Unidos: McGraw-Hill Inc. .

IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) julio 2006 *Guía práctica para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible*. IDAE

Macintyre, S., Hiscock, R., & Kearns , A. (2001). *Housing tenure and car access: further exporation of the nature of their relations with health*. Reino Unido: Epidemiol Community Health.

Mindell, J. W. (20 de Abril de 2011). *Health on th eMove*. Obtenido de Stockport: Transport and Health Study Group: [http://www.transportandhealth.org.uk/?page\\_id=74](http://www.transportandhealth.org.uk/?page_id=74)

Ohrstrom, E. (1992). *Psycho-social effects of traffic noise exposure*. J Sound Vibration .

OICA 2015 *World Motor Vehicle Production by country and type*. <http://www.oica.net/wp-content/uploads/Total-2015-Q4-March-16.pdf>: 02/01/2017.

Secretaría de Movilidad de Jalisco. (2016). *Concesiones inscritas en el Registro Estatal del Transporte de Pasajeros Colectivo y Masivo*. Recuperado el 14 de febrero de 2017, de <http://semov.jalisco.gob.mx/transporte-publico/542>

Thomsen, T. C. (1951). *The practice of lubrication; an engineering treatise on the origin, nature and testing of lubicants, their selection, application and use*. New York: McGraw-Hill.

UNAM-VARIOS. (2012). *EFICIENCIA ENERGÉTICA. MÉXICO: EDITORIAL TERRACOTA*.

World Health Organization. (8 de Junio de 2011). *The Global Burden of Disease*. Recuperado el 31 de enero de 2017, de [http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/GBD\\_report\\_2004update\\_full.pdf](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/GBD_report_2004update_full.pdf)

World Health Organization. (2013). *Global Health Risks: Mortality and Burden of Disease Attributable to selected Major Risks*. (Geneva) Recuperado el 16 de febrero de 2017, de [http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/global\\_health\\_risks/en/](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/global_health_risks/en/)

*Anexo 1: Materiales utilizados*

<b>Codigo/Descripción</b>	<b>Uso</b>	<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
Perfil BOSCH 40x40 mm tramo 6 metros	Estructura de la pista	Perfil Aluminio	5
Gussets con su respectiva tornillería M6 para perfil BOSCH de 40x40 mm	Accesorio para unir los tramos del perfil	Aluminio	76
Tapas para Perfil BOSCH de 40x40 mm	Tapas para ocultar la estructura interna del perfil	Plástico	18
Tubería PVC 6" tramo 6 metros Sanitario	Tubería para el retorno del agua al tanque de distribución	Tubería PVC	1
Tubería Acrílico 1" tramo 6 metros	Tubería para el desplazamiento del agua hacia las electroválvulas	Acrílico	1
Sensor ultrasónico Hc-sr04, conexión para Arduino	Sensar el paso del carrito	Sensores	60
Electroválvula Solenoide 1/4" para agua	Inyectar agua a la pista	Electroválvula Solenoide	50
Tarjeta Arduino MEGA Original	Controlar el sistema (electroválvulas y sensores)	Arduino	6
Lamina acrílico de espesor 12mm (1.83 metros x 2.44 metros o similar)	Para construir la pista y así como las paredes de esta	Acrílico	1
Regulador de presión para agua 1/4" JA-A1000R	Regular el flujo de agua del sistema	-	1
Manómetro de baja presión para agua limite 60 psi	Medir la presión del sistema a cada metro de la pista	-	6
Reductor 1/4" a 1/8" BUSHING	Reductor de tubería	Cobre	120

Conector Macho Prestolok (Conector Manguera) / 68PL 2 2	Conector para de tubería a manguera	-	120
Manguera de 1/8" de diámetro exterior de 90 metros (Tubing Nylon) / PFT 2A	Manguera para la inyección de agua	Plástico	1
Lamina de acero calibre 11	Lamina donde se van a soportar las electroválvulas y los controles Arduino	Acero Inoxidable	1
Bomba para agua (150 litros/hora, altura 50 centímetros)	Para bombear agua al sistema	Bomba	1
Manguera De Silicón 10m y 4mm diámetro interior	Para transportar el agua de la bomba al tanque de distribución	Plástico	1