



**| DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA TAPA DE POZO DE  
INSPECCIÓN CON CIERRE ELECTROMECHANICO**

**Gustavo Anel Gerena Romero**

**Universidad Militar Nueva Granada  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería en Mecatrónica  
Bogotá, D.C.  
2015**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA TAPA DE POZO DE  
INSPECCIÓN CON CIERRE ELECTROMECÁNICO**

**Gustavo Anel Gerena Romero**

**Trabajo de grado para optar el título de  
Ingeniero en Mecatrónica**

**Ing. Mauricio Mauledoux Monroy, Ph.D.  
mauricio.mauledoux@unimilitar.edu.co**

**Universidad Militar Nueva Granada  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería en Mecatrónica  
Bogotá, D.C.  
2015**

Nota de aprobación

Trabajo de opción de grado titulado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA TAPA DE POZO DE INSPECCIÓN CON CIERRE ELECTROMECHANICO", elaborado y presentado por el estudiante Gustavo Anel Gerena Romero, como requisito parcial para optar al título de ingeniero en Mecatrónica, aprobado por el jurado calificador.

-----  
**Prof.**

**JURADO**

-----  
**Prof.**

**JURADO**

-----  
**Prof.**

**JURADO**

-----  
**Ingeniero Mauricio Mauledoux, Ph.D.**

**DIRECTOR**

A mí viejo, quien aún en la distancia  
sigue sacándome de aprietos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero hacer un agradecimiento especial al Ingeniero Mauricio Mauledoux Monroy, Ph.D. por sus valiosos consejos y asesoría. A María de Jesús Romero por ser el motor que se encuentra detrás de cada uno de mis logros. Y en general, a todas y cada una de las personas que de una u otra manera permitieron que este libro pudiera ser escrito, a los profesores y compañeros de universidad de quienes aprendí todo lo que sé hoy, a mi familia por creer en mí y apoyarme incondicionalmente en los peores momentos y a los amigos que siempre han sido pieza clave en toda mi existencia.

Pero sobre todo, quiero agradecerle a Dios por poner en mi camino esta gente tan maravillosa, noble e inteligente.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1 ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS SOLUCIONES PLANTEADAS AL ROBO DE TAPAS DE POZOS DE INSPECCIÓN.</b>	<b>15</b>
1.1 Antecedentes, Experiencias y Fuentes	15
1.2 Conclusión del Capítulo	20
<b>2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE LOS HURTOS DE TAPAS DE POZOS DE INSPECCIÓN.</b>	<b>22</b>
2.1 Justificación	22
2.2 Objetivo General	23
2.2.1 Objetivos Específicos	23
2.3 Cronograma	23
2.4 Metodología	25
2.5 Conclusiones del Capítulo	25
<b>3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO</b>	<b>26</b>
3.1 Metodología de Diseño	26
3.1.1 Empatía: “Para crear innovaciones significativas necesitas conocer a tus usuarios y preocuparte de sus vidas”	27
3.1.2 Definir: “Enmarcando el problema adecuado es la única manera de crear la solución correcta”	27
3.1.3 Idea: “No es sobre tener la idea correcta, es sobre el crear la mayor cantidad de posibilidades”	27
3.1.4 Prototipar: “Construye para pensar y evalúa para aprender”	27
3.1.5 Evaluar: “Evaluar te da la oportunidad para aprender sobre los usuarios y las posibles soluciones”	28
3.2 Toma de Medidas y Comparación	28
3.3 Alternativas de Solución	29
3.3.1 Factores delimitantes del diseño	29
3.3.2 Propuesta inicial	30
3.4 Diseño Preliminar	30
3.5 Mecánica	36
3.5.1 Selección de materiales	39
3.6 Sistema de Placas por Contacto Electromagnético	43
3.7 Cálculos Matemáticos	44
3.7.1 Cálculos pasadores	44
3.7.2 Cálculos tapa	50
3.8 Validación del CAD	53

3.8.1	Análisis de esfuerzos para tapa	53
3.8.2	Análisis de esfuerzos para pasadores	56
3.9	Electrónica	59
3.9.1	Control externo	59
3.9.2	Circuito interno	59
3.10	Comunicación	60
3.11	Selección de Materiales	60
3.11.1	Motor	61
3.11.2	4.4.2. Microcontrolador	62
3.11.3	Potencia	62
3.11.4	Batería	63
3.12	Software	63
3.12.1	Diagrama de flujo del programa	64
3.13	Desarrollo del Prototipo	64
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>76</b>
4.1	Análisis de Costos	76
4.2	Posibles Mejoras	78
4.3	Conclusiones	78
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>80</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Diagrama de construcción de una idea	15
Ilustración 2. Diagrama del sistema RFID implementado	16
Ilustración 3. Sensor instalado en tapa de alcantarilla	17
Ilustración 4. Tecnotapa instalada	18
Ilustración 5. Rejilla para alcantarillado fabricada con polímeros de alto rendimiento	19
Ilustración 6. Tapa de Policoncreto	19
Ilustración 7. Rejilla hecha con fibra de vidrio	20
Ilustración 8. Diagrama de Cronograma	24
Ilustración 10. Pasos del "Pensamiento del Diseño"	26
Ilustración 11. Toma de medidas a TPI	28
Ilustración 12. Boceto de diseño 1	31
Ilustración 13. Detalle de boceto 1	32
Ilustración 14. Modelo de tapa desarrollado en Solid Works®	33
Ilustración 15. Actuador electromagnético	33
Ilustración 16. Sistema de tornillo magnético	34
Ilustración 17. Actuador y caja de circuito en explosionado	34
Ilustración 18. Prototipo presentado en evento del distrito	35
Ilustración 19. Diseño mejorado presentado en evento del distrito	35
Ilustración 20. Vista interna de la tapa ensamblada	36
Ilustración 21. Boceto 2	37
Ilustración 22. Modelo inicial mecánico en balsa y cartón paja	38
Ilustración 23. Primer CAD del modelo mecánico	38
Ilustración 24. Software de para consulta de propiedades mecánicas	40
Ilustración 25. Placas sobre tapa	43
Ilustración 26. Sistema de placas electromagnéticas	44
Ilustración 27. D.C.L de la tapa al ser sometida a una fuerza de halado	45
Ilustración 28. D.C.L de las barras	45
Ilustración 29. D.C.L con las direcciones correctas	47
Ilustración 30. Diagrama cortante y flector	47

Ilustración 31. Área de interés para el análisis	50
Ilustración 32. Fuerza distribuida sobre la superficie de la tapa	51
Ilustración 33. Tapa y sistema de pasadores	53
Ilustración 34. Malla de tapa en SimulationXpress Study	54
Ilustración 35. Alcantarilla-SimulationXpress Study-Tensiones	55
Ilustración 36. Alcantarilla-SimulationXpress Study-Factor de seguridad	55
Ilustración 37. Alcantarilla-SimulationXpress Study-Desplazamientos	55
Ilustración 38. Alcantarilla-SimulationXpress Study-Tensiones-Stress	57
Ilustración 39. Alcantarilla-SimulationXpress Study-Factor de seguridad-Factor of Safety	58
Ilustración 40. Pasador con factor de seguridad equivalente a 4	58
Ilustración 41. Pasador con factor de seguridad equivalente a 1.5	59
Ilustración 42. Especificaciones técnicas de dispositivos Bluetooth	60
Ilustración 43. CAD de motor	61
Ilustración 44. Mecanismo sin fin corona	61
Ilustración 45. Arduino UNO	62
Ilustración 46. Puente H L298 Driver Motor	63
Ilustración 47. Batería 12 Volts 800mA	63
Ilustración 48. Diagrama de flujo	64
Ilustración 49. Fibra de vidrio	65
Ilustración 50. Tapa de madera sin recubrimiento	65
Ilustración 51. Químicos para la elaboración de la resina	66
Ilustración 52. Cavidades en la zona superior de la tapa	67
Ilustración 53. Tapa con fibra de vidrio pintada	68
Ilustración 54. Soportes de aluminio instalado en la parte inferior de la tapa	68
Ilustración 55. Placas de sistema electromagnéticas instaladas	69
Ilustración 56. Sujeción para motor	69
Ilustración 57. Sujeción instalad en el motor	70
Ilustración 58. Instalación de la sujeción a la placa central	70
Ilustración 59. Sistema de transmisión motor-placa central	70
Ilustración 60. Pasador instalado en soportes	71
Ilustración 61. Sistema mecánico extendido y recogido al máximo	71
Ilustración 62. Placas terminales para energizar tapa	72
Ilustración 63. Prototipo con componentes en su nueva ubicación	72

Ilustración 64. Circuito de pruebas para comunicación e interfaz	73
Ilustración 65. Interfaz gráfica inicial del prototipo	73
Ilustración 66. Código de programación de los dispositivos Bluetooth	74
Ilustración 67. Espacio para carga de control	74
Ilustración 68. Tapa superior del control	75
Ilustración 69. Pilares del análisis de costos	76

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cronograma de Actividades	23
Tabla 2. Toma de mediciones de tapas	28
Tabla 3. Propiedades mecánicas de los materiales	41
Tabla 4. División del sistema y materiales seleccionados	42
Tabla 5. Tabla con los valores de las variables	46
Tabla 6. Tabla dinámica con ecuaciones implementadas	49
Tabla 7. Tabla de parámetros iniciales	51
Tabla 8. Resultados del análisis.	52
Tabla 9. Detalles de carga para tapa	53
Tabla 10. Información de malla para tapa	54
Tabla 11. Información de estudio para tapa	54
Tabla 12. Detalles carga de pasadores	56
Tabla 13. Información de malla para pasadores	56
Tabla 14. Resultados de estudio para pasadores	57
Tabla 15. Costos de fabricación del prototipo	76

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1	83
ANEXO 2	84
ANEXO 3	85
ANEXO 4	86
ANEXO 5	87
ANEXO 6	88
ANEXO 7	89
ANEXO 8	90
ANEXO 9	91
ANEXO 10	92
ANEXO 11	93
ANEXO 12	94
ANEXO 13	95
ANEXO 14	96

## INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Bogotá, el constante hurto de tapas de pozos de inspección (en adelante TPI) se ha visto incrementado por la falta de una solución definitiva por parte del Gobierno y las entidades responsables. El deseo de evitar todas las consecuencias materiales y sociales que este acto delictivo produce ha generado en la comunidad la necesidad de encontrar una medida contundente, pero las múltiples variables que rodean esta problemática y las soluciones improvisadas que se han planteado hasta ahora no lo han permitido. A esto se suma que los desarrollos en este campo han tenido una evolución muy lenta o casi nula, teniendo en cuenta que en la actualidad todo cambia rápidamente con la ayuda de la tecnología y los conceptos basados en el internet de las cosas.

En ese orden de ideas, las TPI parecen haberse quedado en el olvido y los grandes desarrollos tecnológicos se encuentran al margen de esta problemática. Pero lo más preocupante es que alrededor de esta situación se ha venido generando una mafia donde el hurto hace parte de un negocio que se alimenta de la compra y venta, lo que podría explicar el atraso tecnológico que presentan las TPI en Colombia y el mundo.

Luego, encontrar una solución definitiva podría verse representado en cientos de millones de ahorro para la ciudad y en inversión para otros fines como educación o tecnología, lo que conlleva a la formulación de la siguiente pregunta: ¿Es posible diseñar y construir una tapa que no pueda ser robada, que sea eficiente, pero sobre todo rentable frente a los costos que tiene una tapa común? La respuesta a esta pregunta es sí, pero materializar este concepto requiere de una idea preliminar, diseño, dedicación, tiempo y algo de dinero; pero teniendo en cuenta todo lo que conlleva esta situación valdría la pena hacer esta inversión a cambio de los grandes beneficios que un proyecto así significaría para el bienestar de la comunidad.

Este libro es el resultado del desarrollo tecnológico que se planteó como solución a la problemática social del robo de TPI que en los últimos años ha afectado a la ciudad de Bogotá. En este trabajo se detalla el diseño y construcción de un prototipo que tiene como objetivo plantear una pauta para acabar definitivamente con el mencionado problema.

Este documento cuenta con una estructura sencilla pero completa donde se abordan temas sociales e ingenieriles. Se encuentra el paso a paso del diseño y la construcción, los códigos de programación y hasta los planos del diseño. Además, a lo largo del documento se presentan posibles mejoras basadas en la experiencia de construirlo, esto con el ánimo de que se le facilite a cualquier persona construir una versión mejorada del prototipo aquí presentado, con la esperanza de que algún día esta tapa pueda ser instalada con éxito.

En el capítulo uno de este documento se desarrolla un análisis del estado del arte de las TPI a nivel mundial, donde se establecen los conceptos necesarios para iniciar una fundamentación. Asimismo se analizan las características principales de las tapas que se encuentran en el mercado y se habla un poco

de los antecedentes, recalcando algunos adelantos semejantes a nivel internacional con un marco teórico orientado a los conceptos utilizados en la construcción y diseño.

En el capítulo dos se hace una descripción más detallada del problema de los hurtos, la justificación del trabajo y se plantean los objetivos específicos y generales del proyecto, los cuales se encuentran debidamente delimitados teniendo en cuenta que no se contó con el tiempo suficiente para someter al prototipo a pruebas de campo.

Finalmente, el capítulo tres abarca los detalles del diseño y construcción del prototipo de la TPI con un paso a paso de la metodología implementada en la realización de este proyecto. Por último se realizan unas conclusiones generales cuantificando los resultados obtenidos y su posterior análisis.

La idea desarrollada en este trabajo surgió en un ambiente universitario fruto, de la innovación que un ingeniero ve a lo largo de su carrera y de los problemas que los medios de comunicación difunden. Todo comenzó con algunos bocetos que luego se convirtieron en las bases de lo que sería una idea más fundamentada y coherente. Con dicha idea se participó en un programa de emprendimiento del Distrito y se obtuvieron excelentes resultados e información, ya que en el proceso diferentes profesionales evaluaron la idea y contribuyeron para el desarrollo de las bases de todos los aspectos que una TPI podría tener desde el punto de vista ingenieril, financiero y ecológico. Además, se desarrollaron diseños que fueron presentados a expertos, quienes encontraron cosas por mejorar, lo que generó un ambiente óptimo para fundamentar mejor la idea y edificar una base más sólida antes de la construcción final. Teniendo en cuenta esta experiencia se generó un pensamiento de diseño con la prioridad de conseguir un modelo rentable, eficiente y ecológico frente a los costos actuales de las TPI convencionales, con la visión de que versiones mejoradas puedan ser definitivas en un futuro cercano.

Desde el principio, el diseño y la construcción de la TPI presentó grandes retos, los cuales se fueron resolviendo de una manera ingenieril por medio de investigaciones y pruebas que se evidencian a lo largo de este libro. Cada una de las dificultades presentadas fueron vistas como nuevas oportunidades para mejorar y aprender, obteniendo así un diseño que cumple con las características necesarias de un prototipo óptimo, que demuestra que es posible introducir tecnología en las carreteras con resultados positivos, y que la problemática del hurto de TPI tiene una solución rentable y eficiente, a pesar contar con un prototipo inicial.

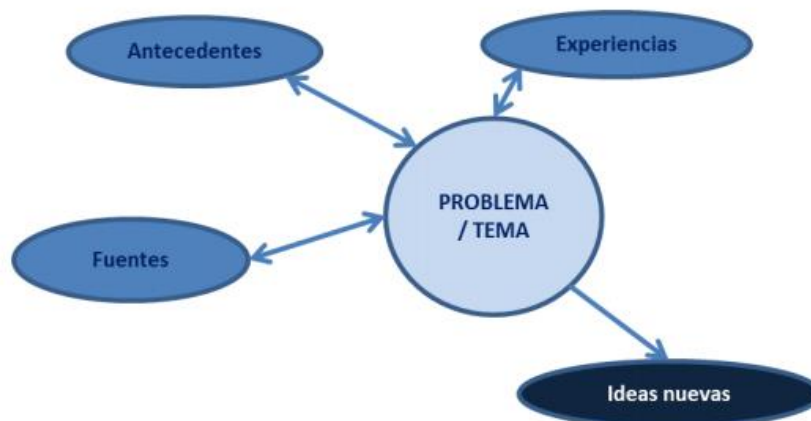
Entre los resultados más relevantes está la consecución de un prototipo económico y eficiente frente a las tapas convencionales, la resistencia al agua, el uso de materiales de fácil adquisición y la confiabilidad de los seguros. Estos resultados permiten dar pasos en aras de acabar definitivamente con el robo TPI en la ciudad de Bogotá.

## 1 ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS SOLUCIONES PLANTEADAS AL ROBO DE TAPAS DE POZOS DE INSPECCIÓN.

En todos los procesos de investigación es preciso seguir diversos caminos, todos ellos primordiales para abordar cualquier problema. Uno de los más importantes es el estado del arte, ya que su elaboración es necesaria para fortalecer la formulación del problema o tema investigativo. La ejecución del estado del arte permite comunicar la información, generar una demanda de conocimiento y constituir comparaciones con otros conocimientos paralelos, ofreciendo diferentes posibilidades de comprensión del problema.

En este capítulo se realiza un análisis del estado del arte a partir de las experiencias, fuentes y antecedentes, obteniendo como resultado un conocimiento sobre la forma como diferentes actores han tratado el tema de robo de TPI, hasta dónde han llegado, qué tendencias se han desarrollado, cuáles son sus productos y qué problemas se están resolviendo, para así finalmente poder darle forma a una idea nueva.

Ilustración 1. Diagrama de construcción de una idea



Fuente: (Londoño Palacio, Maldonado Granados, & Calderón Villafáñez, 2014)

### 1.1 ANTECEDENTES, EXPERIENCIAS Y FUENTES

Una de las primeras etapas que debe desarrollarse dentro de un proyecto es la construcción de su estado del arte, ya que permite determinar la forma como ha sido tratado el tema, cómo se encuentra el avance de su conocimiento en el momento de realizar una investigación y cuáles son las tendencias existentes.

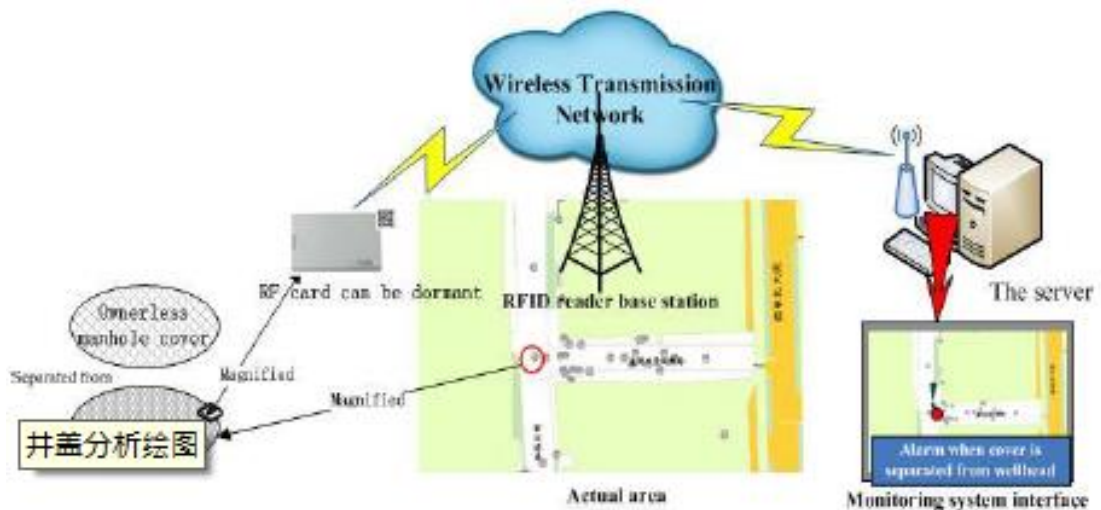
Uno de los grandes problemas que afrontan las ciudades Colombianas es el robo de las TPI, pues solo en Bogotá se roban 2.000 tapas al año (Pulzo.com, 2014). Esta situación se ha intentado resolver a lo largo del tiempo, pero el éxito ha sido poco ya que las diferentes soluciones que se han planteado son efímeras o insuficientes para las personas inescrupulosas que encuentran el modo de hurtarlas. En casos concretos, si hacen las tapas más pesadas los delincuentes las retiran atándolas a vehículos pesados; si se instalan guayas para atar las tapas, éstas son cortadas; o si cambian el material de elaboración

por uno reciclable, son vendidas esta vez no para la reutilización del hierro del que eran hechas, sino por lo que son como tal, solo que en otros lugares del país (EFE, 2005).

Las medidas contra el hurto TPI tienen antecedentes y adelantos tecnológicos a nivel mundial. Un ejemplo es el desarrollo liderado por dos estudiantes de la Universidad de Beijing - China, de Ingeniería Civil y Electrónica, Yang Liu y Mingyi Du. Estos jóvenes diseñaron un sistema de supervisión y gestión de tapas de alcantarillas basados en tecnología RFID - Identificación por Radio Frecuencia- (Durán, 2014), con el fin de salvaguardar la infraestructura urbana reportando de forma inmediata la falta de una tapa.

Por medio de análisis profundos de la situación de las tapas de alcantarillas, basados en observación y estadísticas, estos estudiantes establecieron una red de vigilancia y sistema de gestión de las mismas en el distrito de Xicheng-Beijing. Se instalaron sensores y tecnología de transmisión 3G, además de varias estaciones base RFID en algunos de los puntos de supervisión clave donde las tapas de registro se perdían fácilmente y con frecuencia, y cada tapa de alcantarilla se le fijó una tarjeta RF latente. El estado de las tapas fue trasladado al centro de supervisión en tiempo real por medio de una red inalámbrica GPRS. Esto formó una manera activa e inteligente de supervisión y gestión de las TPI, consolidándose como una medida correctiva y de investigación, pues el trabajo trató de explorar el uso de la tecnología RFID para mejorar la gestión de la supervisión económica, eficaz e inteligente. Sin embargo, las tapas siguieron siendo hurtadas, pues el objetivo de este sistema no era ubicar las tapas robadas, sino detectar a tiempo cuando faltaba una, para así tomar medidas e instalar una nueva.

**Ilustración 2. Diagrama del sistema RFID implementado**



**Fuente: (NoticiasRCN.com, 2013)**

Por otro lado, John F. Mastarone y William J. Chappell del departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática de la Universidad de Purdue en EE.UU han propuesto un sensor urbano de tapas de alcantarilla para el monitoreo ambiental (Mastarone & Chappell, 2006), que aunque no pretende solucionar el

hurto de las tapas, sí comparte los desafíos de ingeniería que incluyen el hecho de que el medio ambiente es adverso y variable, la fuente de alimentación es a nivel del suelo y que la antena no puede sobresalir de la tierra. En este trabajo se pretendió demostrar la exitosa adaptación de sensores en el sistema de alcantarillas comunes y la viabilidad de tener sistemas electrónicos en las tapas, sin preocuparse por los riegos que la intemperie de las calles conlleva.

**Ilustración 3. Sensor instalado en tapa de alcantarilla**



**Fuente: (Mastarone & Chappell, 2006)**

Encontrar una solución definitiva al problema de hurto de TPI se ha convertido en un desafío que trasciende fronteras. La propuesta más eficaz fue forjada por una compañía colombiana llamada MICROMOTORES LTDA. y ULTRA S.A. con sede en Bogotá, dedicada hace más de 18 años al diseño, desarrollo, fabricación y comercialización de servicios electrónicos de seguridad para el sector automotor, industrial y residencial (Tecnotapa.com, 2015).

La mencionada empresa se ha dedicado en sociedad con la ETB -Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá- a desarrollar una tapa inteligente con el objetivo de salvaguardar las cámaras que posee el alcantarillado de la ETB. Este proyecto fue llamado TECNOTAPA (Tecnotapa.com, 2012) y ha sido líder a nivel sudamericano; prueba de ello es que este desarrollo estuvo por primera vez en la feria FUTURECOM 2014 en Brasil, en donde Alejandro Garcés, Director General, habló sobre productos TECNOTAPA y sus planes para Brasil. Garcés puso de manifiesto que existe la tecnología y las soluciones de seguridad para la infraestructura subterránea, tales como las redes de cable (Tecnotapa.com, 2014).

Infortunadamente, a la fecha de este escrito, estas tapas no han sido implementadas por la E.A.A.B - Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá-, al parecer por razones económicas, puesto que resulta ser más económico comprar tapas nuevas que una tapa inteligente. Por esta razón, un proyecto similar pero rentable sería un gran aporte para esta situación.

**Ilustración 4. Tecnotapa instalada**



**Fuente: (Tecnotapa.com, 2015)**

TECNOTAPA ofrece ventajas interesantes como el estar libre de mantenimiento y el no usar baterías ni fuentes de alimentación internas (Tecnotapa.com, 2015); pero así mismo presenta debilidades como el no poseer orificios o el cierre blindado, pues es necesario permitir el paso de agua para evitar inundaciones, una razón más por la que la EAAB aún no usa estas tapas. Sin embargo TECNOTAPA es la propuesta que más cerca ha estado de acabar con esta problemática, pues según la Revista Semana, ETB y TECNOTAPAS han logrado mermar la cifra de tapas hurtadas en el 2014 en un 43 % (Tecnotapa.com, 2015), evidenciando que el sistema que presenta esta empresa colombiana es un excelente punto de partida para dar un fin definitivo a este acto delictivo.

Otro tema importante para tener en cuenta son los avances que se han desarrollado en materiales para las alcantarillas. En este campo los polímeros de alto rendimiento han logrado resultados interesantes (Brindis, 2002), pues según pruebas realizadas por profesionales del Instituto de Arquitectura e Ingeniería Civil Jill de Changchun China (Jin, Yin, & Xiao, Application and research of high performance polymer concrete in covers, 2011), es posible usar concreto mezclado con polímeros de alto rendimiento para reemplazar el hierro que se usa en las tapas de alcantarilla. Este grupo de profesionales evidenciaron en su artículo la necesidad de cambiar el material de las tapas debido a que el hurto de éstas vienen en aumento; De manera concreta expresaron que:

Hoy en día, las cubiertas de material de hierro fundido tradicional son robadas, por lo general, debido a que su valor de recuperación. Esto puede dar lugar a lesiones de peatones comúnmente, es por eso que se buscan materiales opcionales capaces de reemplazar el hierro (Jin, Yin, & Xiao, 2011, p. 54).

**Ilustración 5. Rejilla para alcantarillado fabricada con polímeros de alto rendimiento**



**Fuente:** (Jin, Yin, & Xiao, Application and research of high performance polymer concrete in covers, 2011)

En Colombia estos materiales ya son usados. Un ejemplo es la empresa colombiana Reforplas S.A.S, dedicada al diseño, fabricación y desarrollo de materias primas elaboradas a partir de materiales compuestos como polímeros, fibra de vidrio y maderas procesadas (Reforplas.com, 2015). Esta compañía fue contratada por la Empresa de Acueducto de Bogotá para hacer las de polímero no reciclable que se encuentran en las calles; luego, el hierro no es el único material del que se pueden hacer las tapas, mientras que buscar materiales más económicos y resistentes es una excelente idea.

**Ilustración 6. Tapa de Policoncreto**



**Fuente:** (Reforplas.com, 2015)

En un esfuerzo por encontrar otro material viable, la empresa Ghana Egypt Fibre Glass Industry -GEFGI- ha desarrollado unas tapas para alcantarilla fabricadas en fibra de vidrio para su aplicación en la red de carreteras (Tecnocarreteras.es, 2013). Se trata de unas cubiertas cuyo diseño garantiza su uso en infraestructuras viarias debido a su alta capacidad para soportar la carga y el peso de los vehículos y a su larga vida útil.

El uso de estas tapas de alcantarilla de fibra de vidrio acarrea algunas ventajas. En primer lugar, el paso de los vehículos sobre ellas genera un ruido mucho menor que el que se produce al paso sobre las convencionales de hierro y transmiten menos vibraciones al pavimento evitando que aparezcan fisuras en las proximidades. En segundo lugar, al ser un material que es difícil de reciclar, no supone ningún atractivo para los ladrones. Según sus creadores, “existe un problema con las tapas de hierro que son robadas para su uso en otros propósitos una vez fundidas, lo que provoca accidentes de automóviles y

peatones, y un alto coste en reposición de estos elementos” (Tecnocarreteras.es, 2013, párr. 4). Otras características sobresalientes son que las tapas de este material pueden tener una vida útil de más de 30 años, no les afecta la corrosión ni las condiciones meteorológicas, no son conductoras de electricidad ni son sensibles a campos magnéticos.

Ghana Egypt Fibre Glass Industry ha llevado a cabo un proyecto piloto en una calle muy transitada de la ciudad de Accra, en donde verificaron el correcto comportamiento del material propuesto durante 12 semanas.

**Ilustración 7. Rejilla hecha con fibra de vidrio**



**Fuente: (Tecnocarreteras.es, 2013)**

Con base en la información anterior, sería muy interesante afrontar los retos de ingeniería que implicarían construir una tapa que cumpla con los requisitos para ser competente, teniendo en cuenta que Colombia es pionera a nivel internacional en este tipo de tecnología y que la Ingeniería Mecatrónica se encuentra inmersa en casi todos los temas que una tapa inteligente puede tener.

## **1.2 CONCLUSIÓN DEL CAPITULO**

El capítulo deja como conclusión general que la tecnología se ha usado de manera poco efectiva en el diseño y construcción de TPI, y que las soluciones que se han presentado hasta ahora no atacan el problema de raíz, pues los ladrones siempre encuentran la manera de burlar estas respuestas del Gobierno, al menos en todas las propuestas presentadas diferentes a las de TECNOTAPA.

Por otro lado, TECNOTAPA es un proyecto que, a diferencia de los demás, vale la pena tomar como referencia y punto de partida por acercarse mucho a lo que este libro pretende, pues usa un sistema de seguros y proyecta, al igual que este prototipo, acabar con los hurtos de tapas en Bogotá.

Sin embargo, el diseño de TECNOTAPA también tiene algunos aspectos por mejorar, como el hecho de que sus tapas solo sean usadas por la ETB y no por Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá, la cual posee el 80% de las tapas de la ciudad. Esto debido a que estas tapas no pueden ser

usadas por no tener orificios para que las aguas lluvia circulen, lo que permite entender que existen problemas de impermeabilidad.

Por lo anterior, es importante trabajar en este tema mientras se busca la manera de generar un prototipo lo más económico posible, para que sea mucho más simple la transición de tapas convencionales a una como la presentada en el este proyecto. Se debe tener presente que estos costos no se deben comparar uno a uno con las tapas que se encuentran en las calles, pues una tapa con tecnología seguramente va a costar más que una que no la tiene, pero la que posee tecnología no va a ser robada nunca más, mientras que las demás deben ser reemplazadas cada vez sean hurtadas generando a largo plazo costos mayores.

## **2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE LOS HURTOS DE TAPAS DE POZOS DE INSPECCIÓN**

En este capítulo se habla de la descripción del problema, lo que permite al lector conocer la justificación que posee el proyecto, la cual está basada en el análisis del estado del arte desarrollado en el capítulo anterior y es el pilar de los objetivos generales y específicos planteados en el libro. A su vez, los objetivos generan los alcances del proyecto, el cronograma manejado y la metodología usada para el diseño y construcción del prototipo de TPI. Por último se realizan las respectivas conclusiones del capítulo, las cuales se orientan a los conceptos manejados para el desarrollo de la metodología.

### **2.1 JUSTIFICACIÓN**

El constante hurto de tapas de alcantarilla amerita el desarrollo de una solución alternativa, puesto que conlleva consecuencias sociales y económicas que generan pérdidas irreparables como la muerte de menores por ahogarse en los caudales, las personas lesionadas por caer en ellas, los vehículos como motos, carros y camiones que se ven afectados cuando una de sus llantas cae en la alcantarilla sin tapa y los trancones que se generan. Todas estas son razones suficientes para buscar una solución definitiva y diferente a las que han sido planteadas hasta el momento, teniendo en cuenta que el punto de partida está en los trabajos realizados hasta ahora y las posibles mejoras de las que se habla en las conclusiones del capítulo anterior, donde se hace referencia a la falta de tecnología en las tapas de alcantarilla y a la necesidad de poder ser usadas en presencia de agua.

Un claro ejemplo de que las soluciones que se han planteado hasta ahora son correctivas e improvisadas es la propuesta de la E.A.A.B, quien puso en marcha el grupo especial motorizado. Dicho grupo es el encargado de atender las emergencias y las denuncias ciudadanas sobre el faltante de tapas de alcantarillas por medio de una llamada al 116 o al 123, y busca bajar los tiempos de respuesta de 12 - 24 a 4 - 6 horas para el reemplazo de una tapa faltante (Pulzo.com, 2014). Esta es una propuesta que no impide el hurto de las tapas, pero que por el contrario estimula el micro-tráfico que existe alrededor de un problema que, además de ser económico, ha cobrado vidas humanas. Sin embargo, según el Gerente General de la E.A.A.B, esta medida tuvo un impacto, puesto que se logró bajar en un 50% el hurto de tapas desde el año 2006, pero desafortunadamente el robo se sigue presentando con consecuencias lamentables como la muerte de Anhelen Galindo Martínez en el sur de Bogotá (Redacción Noctámbulo de Citytv y Eltiempo.com, 2013).

Solo en tapas de la E.A.A.B. se gastaron 500 millones en el 2013, razón por la cual la empresa está implementando mejoras en los sistemas de prevención, reporte y reemplazo de las tapas faltantes (Elespectador.com, 2014). Esta situación representa una suma de dinero importante que se dilapida anualmente, teniendo en cuenta que cada tapa robada cuesta al estado alrededor de \$350.000 pesos; por lo tanto, el comercio ilegal de las tapas de las alcantarillas le cuesta a Bogotá cerca de 600 millones de pesos al año.

Lo anterior prueba que alrededor de la venta de estas piezas se ha creado una completa red en el mercado negro. Esta problemática no solo se presenta en Colombia sino que también en muchos países del mundo; ejemplos de esto son: Pekín, donde en el 2005 más de 240.000 tapas de alcantarilla fueron robadas (EFE, 2005); Madrid, ciudad en la que en sólo en 15 días se llevan más de un centenar de estas cubiertas de hierro; o en Brasil, país donde ya se dictaminó que habra cárcel para quienes compren tapas de alcantarillas robadas (EFE, 2005).

Una tapa que impida ser hurtada brindaría una solución definitiva a estos inconvenientes, evitando problemas jurídicos serios y ahorrando grandes cantidades de dinero que podrían ser usados en proyectos de tipo educativo.

## 2.2 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un prototipo de una tapa de pozo de inspección con cierre electromecánico para evitar su hurto por parte de personas inescrupulosas, con capacidad para soportar fuerzas de hasta 5000 N y tener un peso y costo relativamente bajo comparado con el de las tapas convencionales.

### 2.2.1 Objetivos Específicos

- Conseguir que el diseño mecánico que tendrá la tapa de pozo de inspección en su interior sea capaz de soportar las fuerzas a las que es sometida al momento de ser hurtada.
- Obtener un sistema de potencia capaz de soportar las condiciones ambientales a las que está expuesta una tapa.
- Construir un prototipo rentable frente a los costos que ya existen, a través de un análisis de costos y de la utilización de materiales reciclados.
- Alcanzar un sistema que sea de fácil manipulación para los operarios, generando un prototipo de funcionamiento sencillo, con las señalizaciones correspondientes.
- Diseñar un sistema que permita obtener un seguimiento de los operarios que retiran las tapas de pozos de inspección por cuestiones de mantenimiento, para tener un mayor control sobre las mismas.

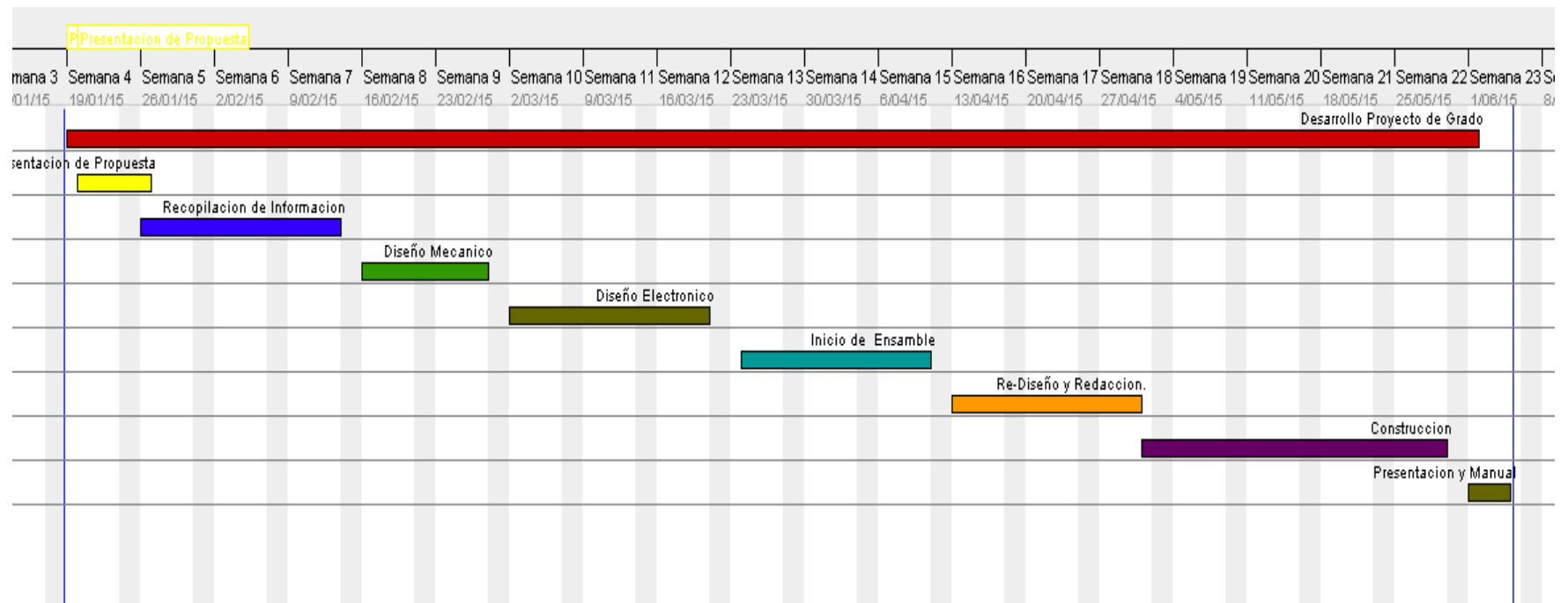
## 2.3 CRONOGRAMA

Tabla 1. Cronograma de Actividades

Actividad	Fecha inicial	Fecha final
Desarrollo proyecto de grado	19/01/2015	01/06/2015
Presentación de la propuesta	20/01/2015	26/01/2015
Recopilación de información	26/01/2015	13/02/2015
Diseño mecánico	16/02/2015	27/02/2015
Diseño electrónico	02/03/2015	20/03/2015
Inicio de ensamble	24/03/2015	10/04/2015
Rediseño y redacción	13/04/2015	30/04/2015
Construcción	01/05/2015	29/05/2015
Presentación y manual	01/06/2015	04/06/2015

Fuente: El autor.

**Ilustración 8. Diagrama de Cronograma**



Fuente: El autor.

## **2.4 METODOLOGÍA**

En la actualidad pueden hallarse miles de metodologías diversas. A veces resulta más conveniente no dedicarse a cumplir íntegramente una sola metodología de principio a fin, sino la implementación de varias para el desarrollo de una que se adapte a la secuencia de pensamiento del diseñador, que brinde la posibilidad de organizar ideas, el tiempo y la información, para de esta forma generar resultados o ideas de diseño. Según esto, resulta lógico y práctico el desarrollo de una metodología personalizada que se adapte al pensamiento racional del diseñador y se aplique a un caso específico a desarrollar.

Sin embargo, toda metodología debe pasar un proceso evaluativo que garantice sus resultados, el cual muy probablemente no dejará la primera idea como la definitiva, dando como consecuencia un trabajo de prueba y error constante. Es así que hasta la metodología más personalizada debe someterse a una serie de pruebas con el fin de ser catalogada como tal.

La construcción y diseño de una idea es una tarea que requiere tiempo y experiencia, pues un error en diseño podría verse reflejado económicamente de una manera severa o, en el peor de los casos, en vidas humanas. Es por eso que para el desarrollo de este proyecto se requirió más de un año de tiempo para encontrar la mejor asesoría y tomando decisiones profesionales. Se contó con la ayuda de expertos de casi todas las ramas, pues no solo el punto de vista ingenieril es importante, ya que existen campos que no se podían ignorar, por ejemplo, el ambiental o financiero para un modelo de negocios, modelos Cambas o un estudio de mercado. Estas ramas parecen muy distantes, pero a la hora de desarrollar un proyecto deben comportarse como si fuesen una sola.

Para este proyecto el diseñador usó como guía el “Design Thinking”. En los siguientes capítulos se habla con más detalle sobre esta metodología implementada, sus características y las validaciones que se hicieron para determinar el grado de confiabilidad de las decisiones tomadas a lo largo de la construcción y el diseño de la TPI.

## **2.5 CONCLUSIONES DEL CAPITULO**

Cabe concluir que la metodología flexible es la mejor de las opciones para el diseño de la TPI, pues visto de esta manera, el diseñador puede enfocar sus esfuerzos en lo que más le concierne, en este caso: los costos y la impermeabilidad. Al llegar al abordaje de estos aspectos es fácil observar que este problema tiene una fuerte connotación social y que el desarrollo del proyecto no parece complicado teniendo en cuenta que podría generar ahorro a la ciudad de Bogotá. Por lo anterior, la comercialización de la TPI que en este proyecto se desarrolla no debería presentar mayor inconveniente, puesto que los objetivos planteados fueron orientados a la parte ingenieril y concentrados en generar un prototipo competitivo y económico, con el fin de que sea mucho más atractivo en la industria en general, pero específicamente a la Empresa de Acueducto de Bogotá y al Distrito, que son los principales interesados.

### 3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

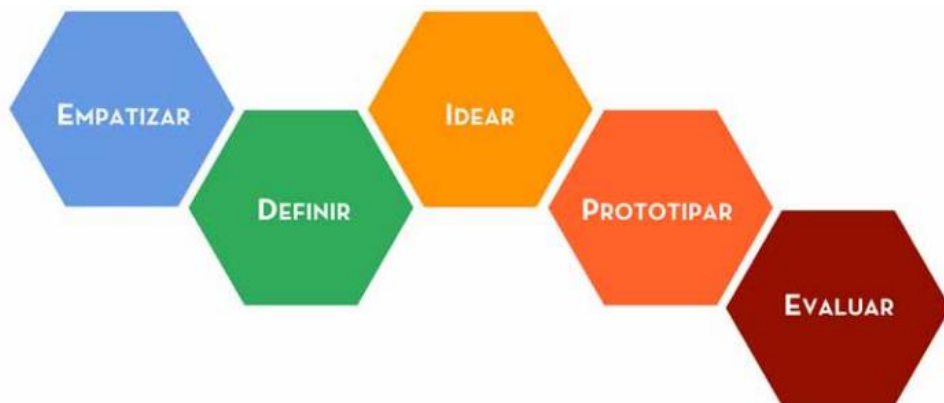
El método, su desarrollo y los resultados obtenidos con este proyecto se encuentran en este capítulo, convirtiéndolo en el más largo del libro pero también en el más interesante. En este apartado se evidencia la manera como de una idea preliminar se genera una propuesta de solución, por medio del empalme de conocimientos de las diferentes ramas profesionales, así como de la pasión de todas las partes que de alguna manera intervinieron en ella.

#### 3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO

Previamente se habló de no implementar una única metodología, puesto que podría limitar al diseñador. Sin embargo, si es importante tomar una metodología como pauta para empezar, razón por la cual se implementó como guía el "Design Thinking", que es una metodología para generar ideas innovadoras que centra su eficacia en entender y dar solución a las necesidades reales.

El "Design Thinking" proviene de la forma en la que trabajan los diseñadores de producto, de ahí su nombre, que en español se traduce de forma literal como "Pensamiento de Diseño". Este método se empezó a desarrollar de forma teórica en la Universidad de Stanford en California (EEUU) a partir de los años 70, y su primera aplicabilidad con fines lucrativos como "Design Thinking" (Desingnthinking.es, 2015) la llevó a cabo la consultoría de diseño IDEO, que hoy día es una prestigiosa empresa de diseño global que se enfoca en crear impacto a través del diseño.

Ilustración 9. Pasos del "Pensamiento del Diseño"



Fuente: (Desingnthinking.es, 2015)

Esta metodología se basa en 5 pilares encargados de guiar al diseñador en la elaboración de un proyecto, basado en la construcción de prototipos intuitivos que luego son evaluados y mejorados. Estos pilares son realmente cinco pasos elementales definidos por palabras que representan todo un desarrollo cíclico, los cuales son: la empatía o comprender, definir, idear, prototipar y evaluar o probar, para por último reiniciar.

A continuación se detallan cada uno de los pasos que esta metodología contiene, con el ánimo de dar una idea al lector de lo que involucra este método de diseño:

### **3.1.1 Empatía: “Para crear innovaciones significativas necesitas conocer a tus usuarios y preocuparte de sus vidas”**

Empatía es la base del proceso de diseño que está centrado en las personas y los usuarios. Entonces, exige entrar en un modo, en un estado de observación que es el modo empatía. Es básicamente el trabajo que se efectúa para entender a los usuarios dentro del contexto del cual se está diseñando. Es el esfuerzo por comprender las cosas que los usuarios hacen y por qué las hacen, sus necesidades físicas y emocionales, cómo conciben el mundo y qué es significativo para ellos. Son las personas en acción las que inspiran al diseñador y direccionan una idea en particular. A esta etapa se le llama “immerse”, ya que el diseñador debe hundirse en un mar de aprendizaje.

### **3.1.2 Definir: “Enmarcando el problema adecuado es la única manera de crear la solución correcta”**

Este modo “definición” enmarca todo sobre traer claridad y enfoque al espacio de diseño en que se definen y redefinen los conceptos. Para definir es preciso determinar bien el desafío del proyecto basado en lo aprendido del usuario y su contexto, para que después de transformarse en un experto instantáneo del problema, el diseñador pueda adquirir una manera de pensar semejante a la de la persona para la que está diseñando. Este proceso permite que exista coherencia sobre la variada información que se ha reunido.

### **3.1.3 Idea: “No es sobre tener la idea correcta, es sobre el crear la mayor cantidad de posibilidades”**

Aquí empieza el proceso de diseño y la generación de múltiples ideas. En esta etapa se entregan los conceptos y los recursos para hacer prototipos y crear soluciones innovadoras. Aquí todas las ideas son válidas y se combinan todos los pensamientos racionales con la imaginación. Es un espacio para desarrollar *brainstorms* y construir opiniones sobre ideas previas. En esta etapa se conciben una gran cantidad alternativas para escoger posibles soluciones en vez de encontrar una sola mejor solución.

### **3.1.4 Prototipar: “Construye para pensar y evalúa para aprender”**

El modo “prototipar” es la generación de elementos informativos como dibujos, artefactos y objetos con la intención de responder preguntas que acerquen a la solución final. Esto quiere decir que no necesariamente debe ser un objeto sino cualquier cosa con que se pueda interactuar. Puede ser un post-it, un cartón doblado, una actividad e incluso un *storyboard*. Idealmente debe ser algo con que el usuario pueda trabajar y experimentar. Este proceso se va refinando mientras el proyecto avanza y los prototipos van mostrando más características.

### 3.1.5 Evaluar: “Evaluar te da la oportunidad para aprender sobre los usuarios y las posibles soluciones”

Este paso consiste en solicitar realimentación y opiniones sobre los prototipos que han creado de los mismos usuarios y colegas, además de ser otra oportunidad para ganar empatía con las personas para las cuales se está diseñando de otra manera. Una buena regla es siempre hacer un prototipo creyendo que se está en lo correcto, pero es necesario evaluar pensando que se está equivocado. Esta es la oportunidad para refinar las soluciones y poder mejorarlas. Idealmente se debe evaluar y testear en el contexto mismo del usuario.

## 3.2 TOMA DE MEDIDAS Y COMPARACIÓN

Teniendo como referencia el problema inicial, el primer paso del diseño fue dimensionar una tapa de alcantarilla normal con el objetivo de verificar las medidas consultadas en internet descritas en el capítulo 2. Para tal fin fue necesario remitirse a la calle y tomar medidas propias y confiables. Con esta información fue posible empezar un diseño mecánico más centrado.

Ilustración 10. Toma de medidas a TPI



Fuente: El autor.

De este ejercicio se obtuvo información valiosa, como por ejemplo, el hecho de que no todas las tapas son iguales ni prestan el mismo servicio, considerando además que son diferentes las empresas encargadas de su fabricación. En la siguiente tabla se relacionan los tipos de TPI y sus diferentes diámetros.

Tabla 2. Toma de mediciones de tapas

Tipo de TPI	Diámetro exterior (cm)	Diámetro interior (cm)
Cemento y anillo	66,5	48,5
Cemento y anillo	59	47
Cemento	70,5	NA
No reciclable	67	NA
Teléfono cemento	57,5	49
Teléfono no reciclable	56,5	NA

Fuente 1: Elaboración propia.

### **3.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

Como resultado de las investigaciones se propuso una primera solución, que consistió en generar un tipo de pasador en las tapas de alcantarilla a modo de seguro para que su hurto no fuera posible. Este sistema requiere de varios pasadores y una manera de activar o desactivar los mismos, pues en ocasiones es necesario abrir y cerrar las tapas con frecuencia, ya sea para mantenimiento de redes o para limpieza de alcantarillado. Por lo tanto, se ideó como primera solución una tapa que pudiera ser controlada por un control externo para poderla abrir o cerrar cuando sea necesario.

Con esta primera propuesta surgieron grandes retos de ingeniería y problemas que debían ser solucionados, para que con el tiempo esta idea preliminar pudiera tomar fuerza y plantar las bases de lo que es el diseño de la TPI final.

#### **3.3.1 Factores delimitantes del diseño**

A continuación se enumeran las delimitaciones que tuvo la construcción de una TPI como la que ideó. Esto con el fin de conocer todos los puntos débiles y generar un mejor diseño.

- No es posible tener una fuente de energía incrustada en la tapa, pues esta podría mojarse o descargarse ocasionando múltiples mantenimientos, lo que conllevaría pérdidas para las empresas que prestan el servicio de instalar las tapas de la ciudad.
- La comunicación del control con la tapa debería tener unas conexiones que no se vean afectadas con el tiempo por las diferentes condiciones ambientales a las que se ve sometida una TPI de la actualidad.
- Un material adecuado para las tapas es el acero inoxidable, pero lamentablemente no es posible usarlo. Los costos de este material aumentarían de manera considerable, puesto que sería necesario realizar una fundición y tener un molde para que la fabricación en masa sea sencilla. Además, se debe tener en cuenta el hecho de que este trabajo trata de un prototipo que deberá ser elaborado con un material que brinde una relativa seguridad.
- Los circuitos se verán expuestos a condiciones difíciles, pues tanto al interior como al exterior de la tapa existen varios factores medioambientales que pueden deteriorar todos estos componentes, llegando inclusive a dañarlos.
- Los costos son una prioridad, por lo tanto es vital tomar las mejores decisiones para que el prototipo pueda ser tenido en cuenta como una posible solución definitiva a esta problemática, como la selección de actuadores y los procesos a usar, entre otros.
- La información que se envía a la tapa debe ser codificada y debe existir un control de acceso con contraseña, de lo contrario, cualquier persona que alimente la alcantarilla lograría abrirla.

### **3.3.2 Propuesta inicial**

Para la idea inicial el sistema consistió en un actuador electromecánico que permitiera o no accionar una palanca para mover dos barras paralelas al suelo, que aseguran la tapa al anillo incrustado en el pavimento o cemento según sea el caso, de modo que impidan que la tapa sea retirada con la facilidad que se presenta hasta ahora. Este actuador sería accionado eléctricamente mediante un circuito inmerso en la tapa, el cual se alimentará de un dispositivo externo por medio de una terminal que se ubicaría en la superficie de la tapa. La terminal estaría sellada para evitar el deterioro producido por los diversos factores ambientales y por las manos bandidas a las que estará expuesta.

El dispositivo externo constará de un teclado, una pantalla y un terminal para comunicarse con el circuito instalado en la alcantarilla. Este será alimentado con una batería recargable, la misma que alimentará el circuito en la tapa, energizando el circuito local únicamente por medio del terminal externo.

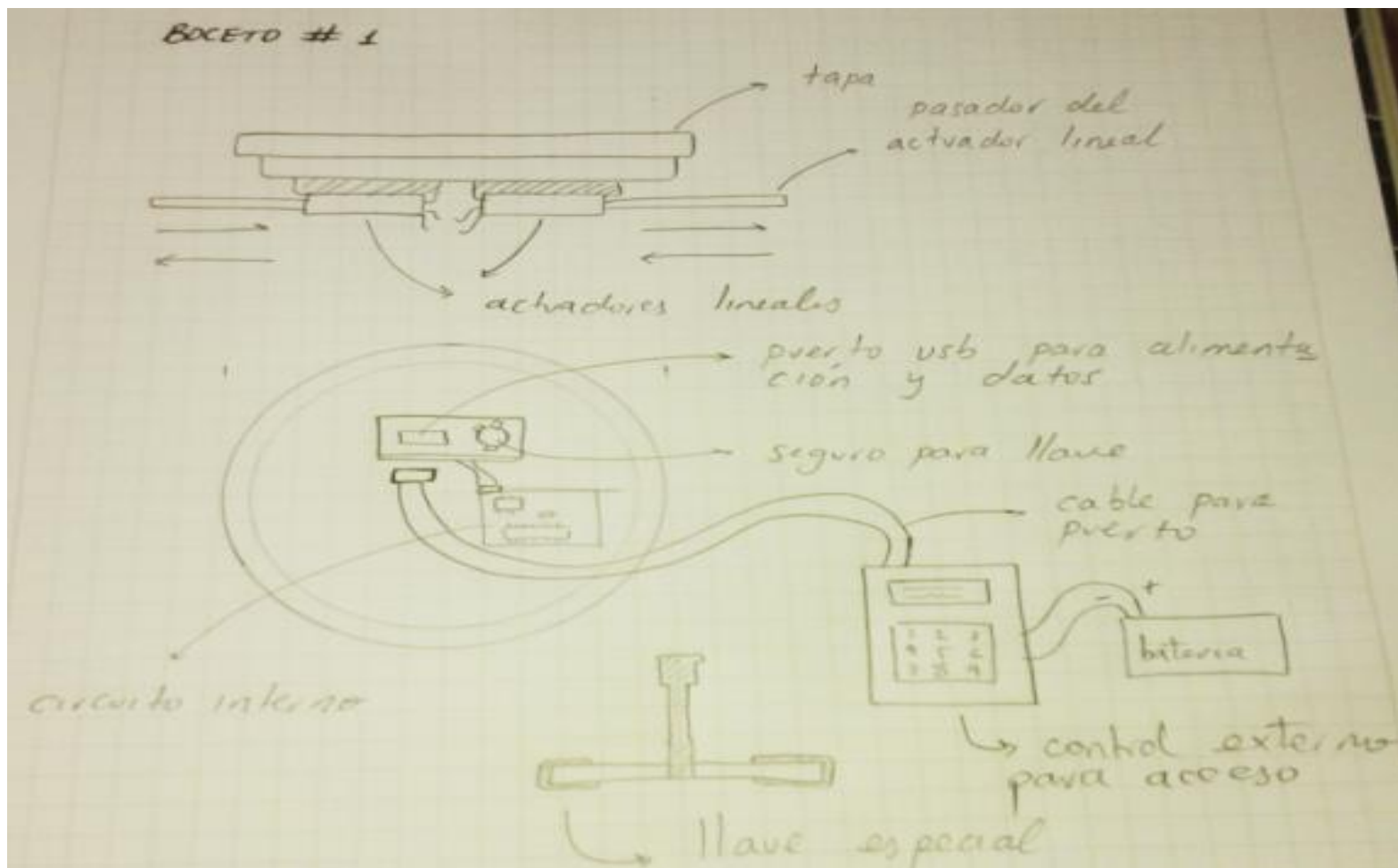
El mecanismo local estará controlado por un microcontrolador, el cual tendrá programada una clave de acceso. Para que el dispositivo funcione se deben ingresar dos claves: una que será la del supervisor de la zona (se piensa distribuir por zonas la ciudad para que cada una tenga su propia clave), y la segunda clave será la suministrada por el operario antes de abrir la tapa. La clave del supervisor habilitará al dispositivo para abrir un máximo de tapas en el día, con el fin de hacer responsable al operario de las tapas que se le permitieron abrir y crear un control. También se quiere hacer un registro en el PIC de cuántas tapas son abiertas y a qué hora, el cual se pasará a un computador por medio de comunicación rs232 que tendrá el dispositivo

### **3.4 DISEÑO PRELIMINAR**

Teniendo como punto de partida la idea inicial y la información recolectada, la creación del boceto fue el primer paso para luego continuar con el diseño asistido por computadora. En estos bocetos se plasmó la idea de manejar dos actuadores lineales que se pueden abrir o cerrar después de que un control externo lo permita. Dichos actuadores serán alimentados por medio de 4 cables –dos para alimentación y dos para datos-. El puerto se encontrará en la parte externa de la tapa y deberá tener una llave de seguridad para protegerla de la intemperie y del hurto. Con lo anterior, es necesaria una llave especial que debe portar la persona que va a abrir la tapa.

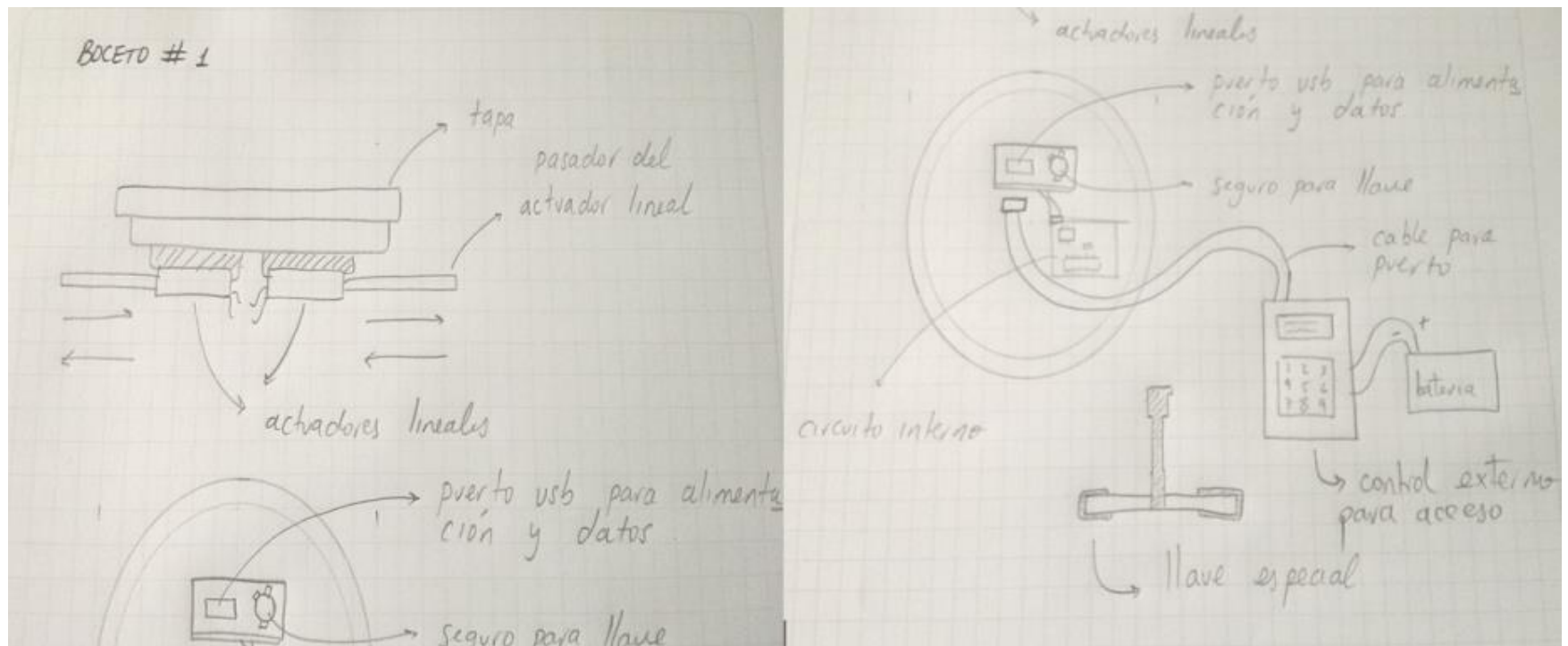
Las imágenes presentadas a continuación son del primer boceto desarrollado para dar solución al problema. Esta idea preliminar posee varias fallas de diseño y planeación, como son: (i) usar dos actuadores lineales representan un costo alto; y (ii) los puertos para alimentar la alcantarilla se terminarían deteriorando con el tiempo por las diferentes condiciones a la que se ve sometida la tapa.

Ilustración 11. Boceto de diseño 1



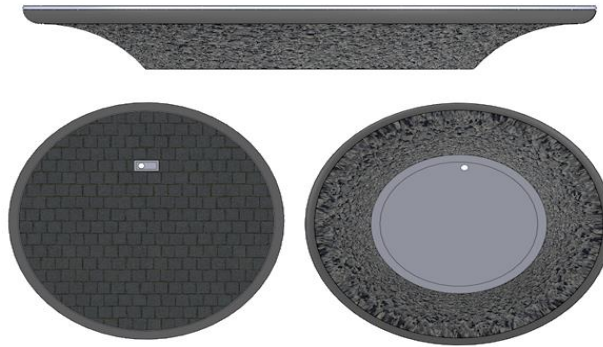
Fuente: El autor.

Ilustración 12. Detalle de boceto 1



Fuente: El autor.

**Ilustración 13. Modelo de tapa desarrollado en Solid Works®**



**Fuente: El autor.**

Como resultado de los inconvenientes relacionados anteriormente se buscaron alternativas; entre ellas está el cambio de actuador por uno más económico y una mejor protección al puerto que se encuentra en la parte superior de la tapa.

El actuador que se considera para esta labor es electromagnético, el cual es usual en autos particulares para bloquear las puertas y cumple con características muy importantes como costo, fuerza, consumo y tamaño.

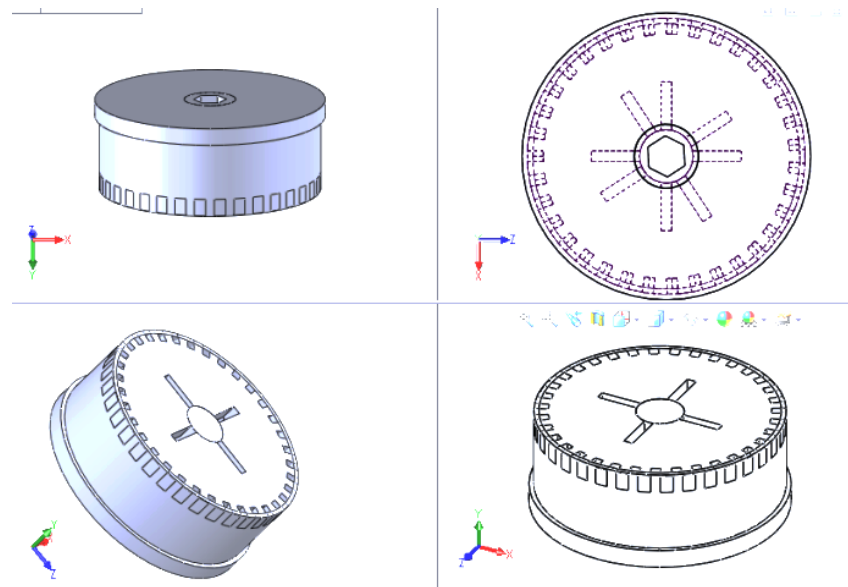
**Ilustración 14. Actuador electromagnético**



**Fuente: El autor.**

Para el problema del puerto expuesto a la intemperie se considera un sistema mucho más seguro, el cual que consiste en una cavidad aislada de la humedad y el exterior, que solo puede ser abierta con una llave que se encuentra imantada para atraer el seguro y permitir la apertura. Lamentablemente este sistema resultó ser muy complejo y la idea fue descartada en el proceso de diseño.

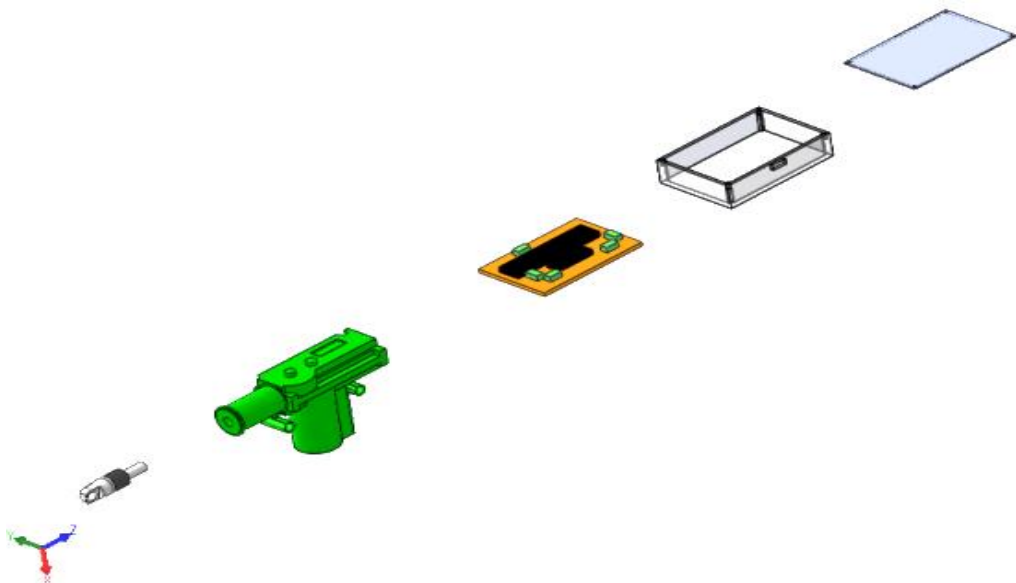
**Ilustración 15. Sistema de tornillo magnético**



**Fuente: El autor.**

Por último, el circuito inmerso en la tapa se impermeabiliza usando un cajón hecho a la medida, el cual se llena de silicona para mayor seguridad, impidiendo así el paso de agua y su deterioro.

**Ilustración 16. Actuador y caja de circuito en explosionado**



**Fuente: El autor.**

Con estas modificaciones se inicia un proceso de diseño asistido por computadora de la tapa. En él se obtiene el primer ensamblaje que fue presentado en la reunión de emprendimiento del Distrito llamada EMPRENDETRONIKA®. En el mencionado encuentro se evaluó la idea de emprendimiento y se solicitó preparar una exposición con un prototipo construido para una reunión próxima.

Este prototipo es fue construido y presentado en EMPRENDETRONIKA®, obteniendo el primer puesto entre los expositores. En las siguientes imágenes se aprecian el resultado de la primera construcción física y del CAD desarrollado de la TPI.

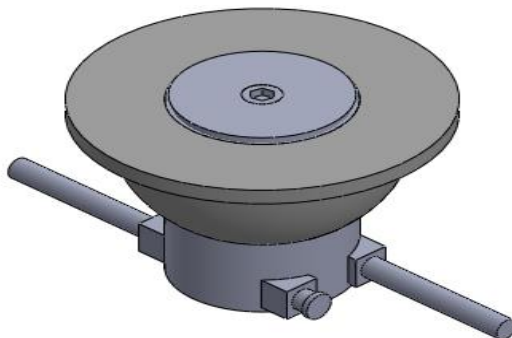
**Ilustración 17. Prototipo presentado en evento del distrito**



**Fuente: El autor.**

El prototipo fue desarrollado en acrílico, pero por problemas de construcción se hizo cuadrado y no cilíndrico como se diseñó en el CAD. En la foto de izquierda a derecha se observa primero un circuito en váquela que contiene un puente H para el movimiento del actuador que se encuentra en la segunda foto, y un puerto serial que permite recibir la energía enviada externamente; luego está el control que se desarrolló para el acceso, el cual aún no contenía la batería interna y era conectado al prototipo por medio de un bus de datos; por ultimo está el prototipo completo y conectado, el cual fue presentado en EMPRENDETRONIKA®.

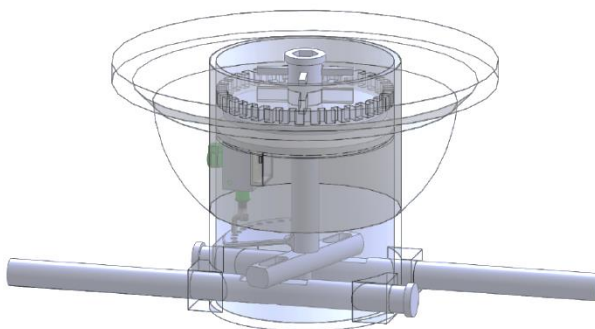
**Ilustración 18. Diseño mejorado presentado en evento del distrito**



**Fuente: El autor.**

En paralelo a la presentación del prototipo, se presentó el modelo en SolidWorks®, el cual permitió aclarar dudas en los jueces y personas que asistieron al evento. Una vista más detallada de este modelo se presenta a continuación.

**Ilustración 19. Vista interna de la tapa ensamblada**



**Fuente: El autor.**

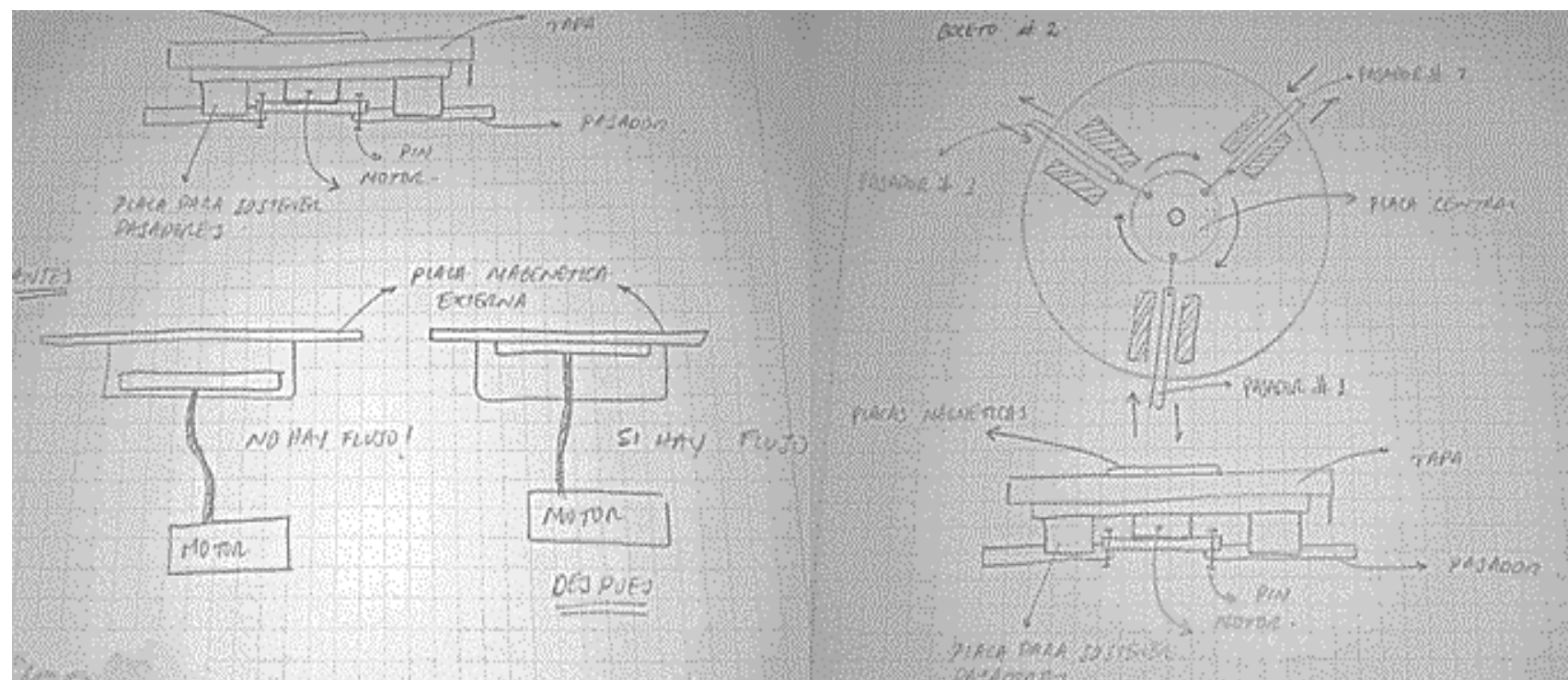
Esta experiencia deja en evidencia muchas falencias que existen en el modelo ideado, ya que la construcción resultó ser compleja al igual que los sistemas. Por esta razón se pensó en replantear un diseño mucho más simple, fácil de construir pero igual de eficiente. A continuación se describen los cambios más significativos en el diseño.

### **3.5 MECÁNICA**

El primer paso en este proceso fue cambiar el actuador usado debido a que presentaba un problema cuando no estaba siendo alimentado, ya que se recogía y no garantizaba el correcto funcionamiento de los seguros, comprometiendo así la confiabilidad de la tapa. Como segunda medida correctiva se optó por cambiar el número de seguros que se usaban de 2 a 3, pensado en reducir el diámetro tanto de los pasadores como de los agujeros que deben ir en la cavidad interna de la alcantarilla como tal. Por otro lado, el mecanismo de cierre y apertura fue reemplazado por un sistema biela manivela para que con el accionamiento de un mismo actuador todos los pasadores logaran ser ubicados en la posición deseada según sea el caso. Por último, se cambió el sistema de alimentación en la parte superior de la tapa por un sistema de placas, las cuales necesitaban ser activadas con imanes para que el prototipo no presente problemas cuando personas inescrupulosas lo alimenten con fuentes que no son las correctas.

Para todas estas mejoras se empezó por desarrollar un nuevo boceto, el cual se presenta a continuación.

Ilustración 20. Boceto 2



Fuente: El autor.

El siguiente paso en el diseño fue realizar pruebas en el sistema mecánico, con el objetivo de obtener información para decidir si esta configuración mecánica es la adecuada. Por lo tanto, se construyó una versión en balsa y cartón paja de lo que es la parte mecánica. Los resultados de este ejercicio fueron positivos ya que con él se concluyó que el sistema es viable; además, se obtuvieron medidas importantes para poder empezar a desarrollar un modelo asistido por computadora.

**Ilustración 21. Modelo inicial mecánico en balsa y cartón paja**

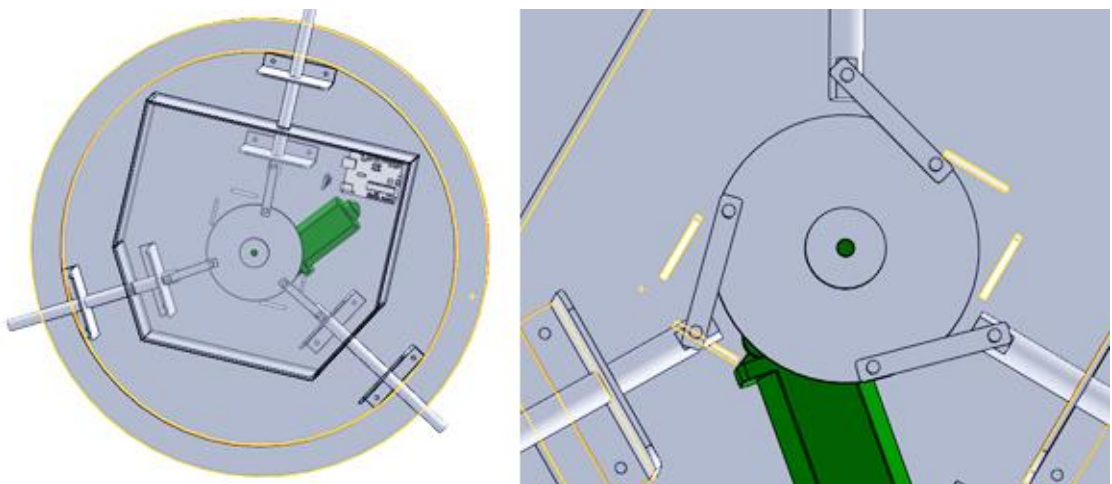


**Fuente: El autor.**

Tomando como referencia el modelo construido, se generó un CAD de la tapa. Esto guiado por las medidas conseguidas en el ejercicio desarrollado en el principio de este capítulo y con las obtenidas con el modelo de balsa. Se usó un motor de eleva vidrios para autos ya que cuenta con un sistema sinfín que multiplica la fuerza, aspecto importante en la tapa. En títulos posteriores se expone a profundidad sobre este motor y sus especificaciones técnicas.

El modelo mecánico desarrollado en SolidWorks® se presenta en la siguiente ilustración. En él es posible observar cuando los pasadores se encuentran totalmente extendidos y cómo son recogidos al girar la placa central que es controlada por un motor.

**Ilustración 22. Primer CAD del modelo mecánico**



**Fuente: El autor.**

Como puede apreciarse, este modelo cumple con los requisitos necesarios ya que es mucho mas simple y seguro que el de la primera propuesta.

El siguiente paso en el diseño fue determinar qué tipo de materiales son los adecuados para la construcción del prototipo, sin dejar de lado las difíciles condiciones a las que debería a ser sometida la TPI.

### **3.5.1 Selección de materiales**

Para desarrollar algún tipo de maquina o prototipo, la selección de los materiales y los procesos para transformarlos en las partes móviles o estructurales del sistema, constituyen un pilar que garantiza el correcto funcionamiento del componente mecánico diseñado. Por tal motivo, el proceso de selección de los materiales debe seguir una metodología rigurosa que permita conseguir un diseño con elevados estándares de calidad, mientras que los costos de diseño, fabricación, operación y mantenimiento del dispositivo permitan mantener los niveles de competitividad del desarrollador.

El material ideal para el diseño del prototipo debe cumplir con características como disponibilidad para su reemplazo, economía, rigidez, estabilidad a diferentes temperaturas, estructura liviana, resistente a la corrosión y al desgaste, y no debe generar efectos negativos sobre el medio ambiente o las personas.

Lamentablemente, lograr el cumplimiento total de los requerimientos se dificulta por varios aspectos, y en consecuencia el diseñador se ve obligado a no seleccionar el material ideal. Por lo anterior se emplean métodos no muy exactos para hacer una aproximación del material en la aplicación, pues en ocasiones se selecciona uno que puede no ser el más óptimo pero que aun así es mejor por su fácil adquisición, por su manejo o por su bajo costo.

La mayoría de métodos parte de la disponibilidad de una amplia variedad de materiales, para lo cual se analizan las propiedades que exige el elemento por diseñar y fabricar, así como criterios de disponibilidad, facilidad de obtención, vida de servicio, factores ambientales y costos, entre otros.

Dentro del esquema mencionado, existe el método tradicional por el cual el diseñador escoge el material más adecuado con base en la experiencia con partes que tengan una función similar. Este método tiene mucha aceptación porque existe seguridad a la hora de seleccionar sobre la base de múltiples pruebas.

Para el caso de las tapas de pozos de inspección se han manejado diferentes materiales a través del tiempo. Por un lado, en los inicios se trabajó con concreto y barrilla para luego usar hierro o acero hasta terminar con plástico no reciclable; ésto porque en el diseño inicial se ignoró un factor importante como lo es la posibilidad del hurto de TPI.

Por otro lado, el método gráfico se apoya en mapas de materiales, y sobre ellos se puede hacer una aproximación a la selección del material teniendo como base la relación de las propiedades más sobresalientes que debe poseer el elemento por diseñar o fabricar. Por lo general, las propiedades más utilizadas son el módulo elástico y la densidad. Estas propiedades se consultan en

mapas, más conocidos como diagramas de Ashby, en los que se seleccionan propiedades como resistencia, módulo elástico, densidad, tenacidad, conductividad térmica y costos.

La selección del material adecuado por el método gráfico requiere cálculos de resistencia y aplicación de análisis de fallas de acuerdo con los esfuerzos aplicados en el elemento. De esta forma, se logra una preselección que da paso a la selección definitiva, teniendo en cuenta otros criterios como costo, disponibilidad del material, efectos ambientales, etc.

Existe otro enfoque que se basa en el uso de bases de datos de propiedades de materiales de ingeniería. Entre ellas existe una gran variedad disponible en textos e Internet como resultado de investigaciones con ensayos de materiales. Una base de datos con gran reconocimiento gracias a la cantidad de datos y variedad de materiales que maneja puede consultarse en [www.matweb.com](http://www.matweb.com).

**Ilustración 23. Software de para consulta de propiedades mecánicas**



**Fuente: (Matweb.com, 2015)**

En el diseño y construcción de tapa de alcantarilla de este proyecto, se decidió tener en cuenta el método que requiere la ayuda de bases de datos con el fin de seleccionar los materiales adecuados a la hora de su fabricación, considerando criterios como disponibilidad del material, resistencia mecánica, peso, resistencia al agua, efectos sobre el medio ambiente o las personas y fácil manejo.

En ese orden de ideas, y con base en toda la información recolectada de materiales usados en tapas de alcantarilla, se propusieron materiales como acrílicos -polímeros-, fibra de vidrio y fibra de carbono -materiales compuestos-, aluminio y acero -metales y aleaciones-. Dicha selección se hizo tomando como referencia las propiedades mecánicas de los materiales, es decir, la resistencia a la flexión, cizallamiento, torsión, dureza y densidad del material.

En complemento a lo anterior, se comprendió que todos los elementos que contiene la tapa no deben ser del mismo material, pues no todos van a soportar las mismas condiciones. Por esto es que se elaboró una tabla comparativa entre materiales relacionando las propiedades mecánicas de cada uno de ellos para por último seleccionar los materiales más adecuados para la construcción del prototipo de la TPI.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de los materiales

Material	Densidad (g/cc)	Resistencia a la Tracción ( MPa)	Módulo de Elasticidad a Compresión (GPa)	Conductividad Eléctrica ( %IACS)	Dureza (HB)
Madera	0,9	40	10	3	2
Aluminio	2,82	200	72	62	10
Acero	7,8	700	205,9	13	131
Fibra de carbono	0,00175	520	150	5	70
Fibra de vidrio	2,58	0,5	1,2	0	8
Acrílico	1,18	10	0,5	0	7

Fuente: Adaptado de Matweb.com. *Matweb, Your source for materials information*. Obtenido de <http://www.matweb.com/>, 2015.

Teniendo en cuenta la información obtenida y las características más importantes, se llegó a la conclusión de que la tapa no se va a desarrollar en un único material ya que los elementos que la conforman tienen funciones totalmente diferentes y no se verán sometidos a las mismas fuerzas; es por eso que se hizo una división de elemento y se escogió el material más óptimo.

El sistema se dividió tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4. División del sistema y materiales seleccionados**

<b>Parte</b>	<b>Función</b>	<b>Material Ideal</b>	<b>Material Seleccionado</b>
Tapa	Es el cuerpo de la tapa. Se verá sometido a grandes fuerzas. Tendrá contacto directo con el agua, el sol y las personas. Además, debería ser un material que sea de fácil manipulación y con poco peso.	Acero o fibra de carbono	Madera recubierta de fibra de vidrio
Control de Acceso	El control será de uso exclusivo de los funcionarios de las empresas encargadas de los mantenimientos de las tapas. Éste será usado en muchas ocasiones y debería ser un material resistente y de bajo peso.	Fibra de vidrio, acero, fibra de carbono, aluminio o acrílico.	Acrílico
Seguros	La parte más importante de la tapa son los seguros, pues van a soportar una gran fuerza en caso de que la tapa corra el riesgo de hurtadas. Por lo tanto, es necesario un material con alta dureza.	Acero o hierro	1020
Soporte del Motor	Éste se encargará de transmitir el movimiento del motor a los pasadores. Debe ser resistente pero no necesariamente del mismo material de los pasadores.	fibra de carbono, acero o aluminio	Aluminio
Caja de Circuitos Internos	Se encargará de contener los circuitos internos en la tapa. Su misión es no permitir que el agua ingrese a los circuitos. No es necesario que sea muy resistente.	Fibra de Vidrio o Acrílico	Acrílico
Terminales en la Tapa	Estos terminales estarán expuestos en la parte superior de la tapa. Es muy importante que sean conductores y magnéticos, pues por éste terminal se alimentará de la tapa cuando los imanes se activen.	Acero o Hierro	Hierro
Recubrimiento interno	Su misión es proteger el sistema interno y no permitir el paso de agua. Las fuerzas que soportará no son muy altas.	Fibra de vidrio o acrílico	Acrílico con recubrimiento de fibra de vidrio

**Fuente: El autor.**

Como se puede observar en la anterior tabla, en varias ocasiones el material más adecuado no es seleccionado. En el caso de la tapa el acero o la fibra de carbono, ambos materiales eran los mejores, pero en este caso trabajar con acero implicaría tener un molde y realizar una fundición, lo cual no es práctico ni económico y más si se trata de un prototipo. Por otro lado, la fibra de carbono es un excelente material pero su costo es elevado.

En consideración de lo anterior, el material seleccionado fue la madera, para someterla a un proceso de recubrimiento con fibra de vidrio y así hacerla resistente al agua, con el ánimo de simular el material adecuado y manejar un peso relativamente bajo para cuestiones prácticas de transporte y manipulación. Con respecto al control de acceso se decidió construirlo en acrílico, ya que al ser un prototipo éste no se verá sometido a manejos no adecuados por parte del personal de mantenimiento de las empresas, sino que por el contrario, éste será usado como prueba por parte del desarrollador del prototipo.

Para los demás elementos de la tapa se tomaron materiales que sí se catalogaron como ideales. Los únicos criterios que se consideraron para su elección fueron los costos y la fácil manipulación de los mismos.

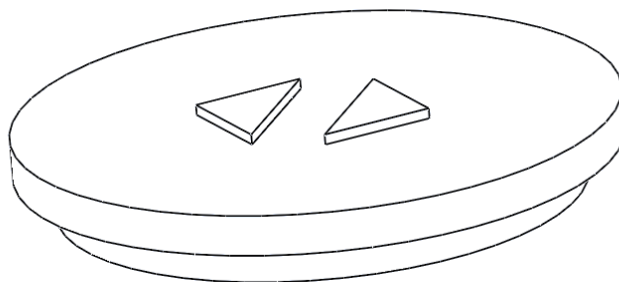
### **3.6 SISTEMA DE PLACAS POR CONTACTO ELECTROMAGNÉTICO**

Como solución al problema presentado en los puertos que ubicados en la parte exterior de la tapa, se propuso un sistema que prescinde de éstos y que está conformado por dos placas para la alimentación (una positiva y otra negativa), ubicadas sobre una cavidad que tiene la tapa. En dicha cavidad hay una placa más pequeña que se encuentra a unos milímetros de la placa grande con el objetivo de que no la toque, y que por lo tanto no permita el paso de la corriente, a menos que se le acerque un imán lo suficientemente fuerte como para vencer la gravedad y acercar la placa pequeña a la tapa grande y permitir que sea alimentada.

Con este sistema se evita que los puertos se dañen por la suciedad a la que se ven expuestos, sumado a que ofrece protección ante el hecho de que personas inescrupulosas alimenten la tapa con una fuente que no sea la correcta.

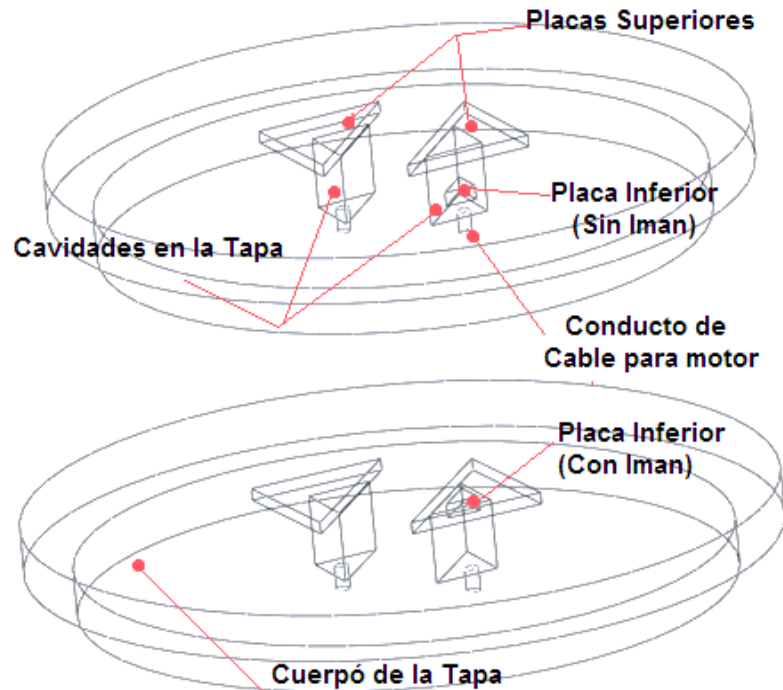
En la siguiente ilustración se observa el funcionamiento de este sistema.

**Ilustración 24. Placas sobre tapa**



**Fuente: El autor.**

Ilustración 25. Sistema de placas electromagnéticas



Fuente: El autor.

### 3.7 CÁLCULOS MATEMÁTICOS

Analizar matemáticamente la estructura con las fuerzas que va a soportar es un aspecto importante en el diseño. Por tal razón se realizaron unos cálculos matemáticos de manera manual para luego ser validados por medio de un software.

#### 3.7.1 Cálculos pasadores

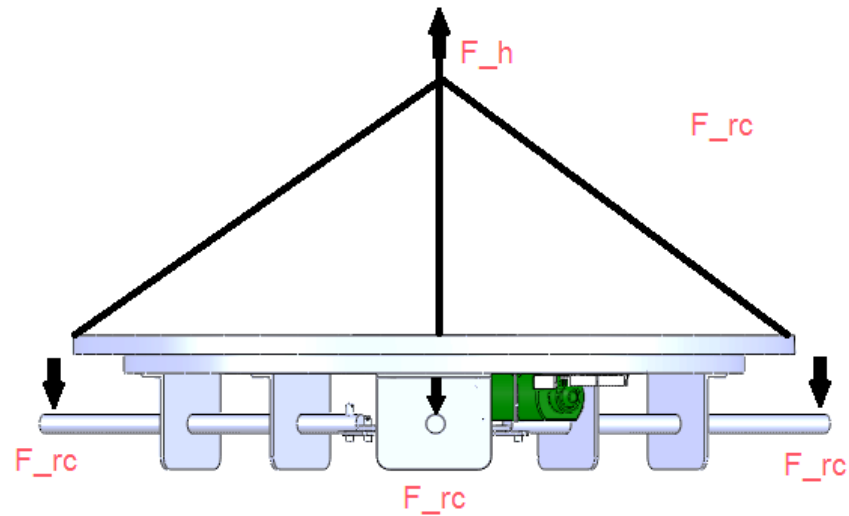
El desarrollo de los cálculos resultantes del análisis matemático se hizo por medio de Excel. En dicho programa se declararon variables globales y se asociaron a valores que fueron obtenidos por medio de mediciones, ecuaciones o tablas.

El primer paso fue desarrollar el D.C.L (Diagrama de Cuerpo Libre) del pasador, considerando que la tapa como tal no presentara falla alguna. Sin embargo, ésta también será estudiada por aparte más adelante.

En el estudio la tapa fue sometida a una fuerza de halado ( $F_h$ ), que produce en los pasadores una reacción de la misma magnitud pero en sentido contrario. Luego, al ser tres pasadores, la fuerza ( $F_h$ ) se divide en tres, obteniendo así que la fuerza de resultante de cada barra ( $F_{rc}$ ) fuera igual a la tercera parte de la fuerza ( $F_h$ ).

En las siguientes gráficas es posible observar la manera en la que considera esta fuerza  $F_h$  y cómo las reacciones en cada pasador son opuestas.

Ilustración 26. D.C.L de la tapa al ser sometida a una fuerza de halado

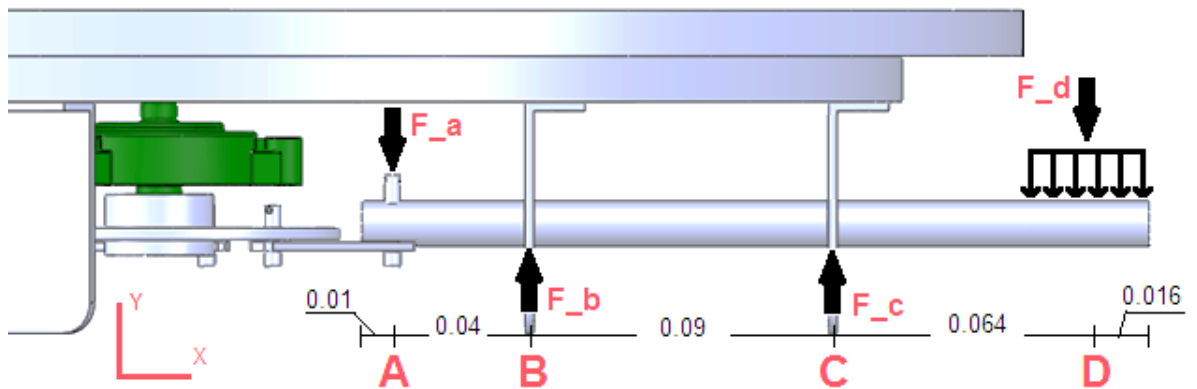


Fuente: El autor.

Luego de saber que fuerza actúa sobre los pasadores es posible realizar un D.C.L de la barra como tal. En este diagrama solo es conocida la fuerza  $F_d$  que es equivalente a la fuerza  $F_{rc}$ .

$$F_{rc} = F_d = \frac{F_h}{3} = \frac{5000N}{3} = 1666.6667 N$$

Ilustración 27. D.C.L de las barras



Fuente: El autor.

En el diagrama se consideraron 4 puntos críticos, pues en ellos se esperaron reacciones. Estos son los puntos A, B, C y D, donde se fijaron en sentidos aleatorios, los cuales son respectivamente  $F_a$ ,  $F_b$ ,  $F_c$  y  $F_d$ .

Para parametrizar los valores en Excel, se realizó una tabla con las variables, su descripción, unidades y símbolo.

Tabla 5. Tabla con los valores de las variables

Variable	Descripción	Símbolo Excel	Valor	Und	Ecuación Excel
D_b	Diámetro de la barra	D_b	0,015	m	Prototipo
L_s	Longitud sobresaliente barra	L_s	0,032	m	Prototipo
d_AB	Distancia entre punto A y B	d_AB	0,04	m	Prototipo
d_BC	Distancia entre punto B y C	d_BC	0,09	m	Prototipo
d_BD	Distancia entre punto B y D	d_BD	0,154	m	Prototipo
d_CD	Distancia entre punto C y D	d_CD	0,064	m	Prototipo
d_AC	Distancia entre punto A y C	d_AC	0,064	m	Prototipo

Fuente. El autor.

Con el ánimo de hallar los valores de las fuerzas desconocidas, se realizó una sumatoria de fuerzas en el eje X y dos sumatorias de momentos en B y C; pues eran necesarias mínimo 3 ecuaciones para resolver este sistema.

$$\sum F_X = -F_a + F_b + F_c - F_d = 0 \quad \text{-Sumatoria de Fuerzas-}$$

$$\sum M_B = F_a * d_{AB} + F_c * d_{BC} - F_d * d_{BD} = 0 \quad \text{-Sumatoria de Momentos-}$$

$$\sum M_C = F_a * d_{AC} - F_b * d_{BC} - F_d * d_{CD} = 0 \quad \text{-Sumatoria de Momentos-}$$

Realizando sustituciones se consiguió resolver el sistema de 3x3 y despejar cada una de las fuerza en los términos de las variables.

#### Ecuación 1:

$$F_c = (F_d * (d_{AB} * (d_{AC} + d_C) - (d_{AB} + d_{BD}) * (d_{AC} - d_{BC}))) / (d_{AB} * d_{AC} + (d_{AB} + d_{BC}) * (d_{AC} - d_{BC}))$$

#### Ecuación 2:

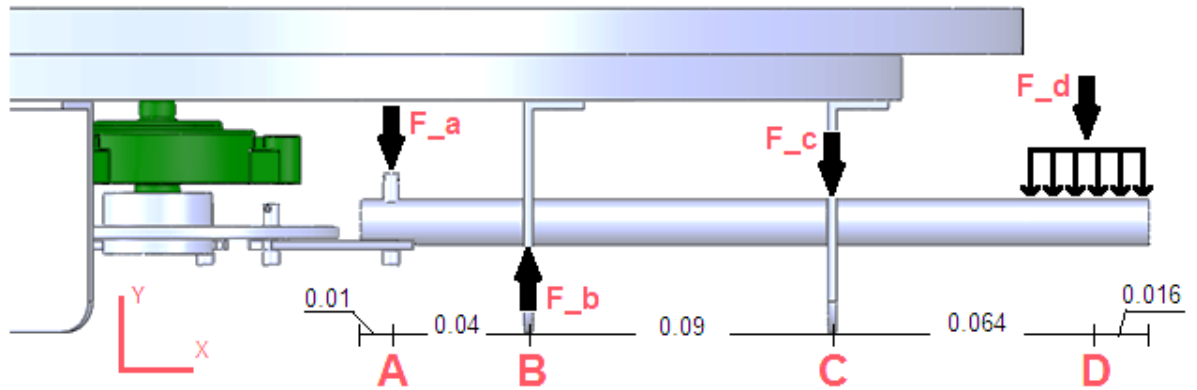
$$F_b = (F_d * (d_{AB} + d_{BD}) - F_c * (d_{AB} + d_{BC})) / (d_{AB})$$

#### Ecuación 3:

$$F_a = F_b + F_c - F_d$$

Estas ecuaciones fueron llevadas a la tabla dinámica de Excel, y de ésta manera se consiguieron los valores de cada una de las fuerzas. Sin embargo, algunos valores fueron negativos, lo que significa que la dirección en la que se consideró la fuerza era incorrecta, razón por la cual se hizo necesario redibujar el diagrama de cuerpo libre.

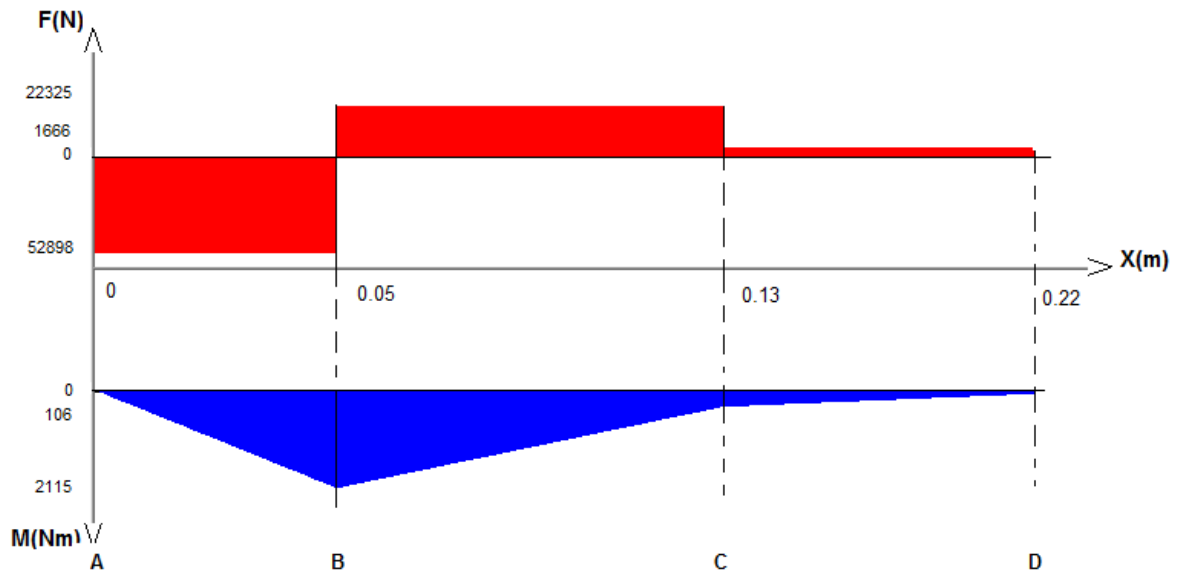
Ilustración 28. D.C.L con las direcciones correctas



Fuente: El autor.

Con esta información fue posible construir el diagrama flector y cortante para determinar el lugar donde se concentra mayor esfuerzo para la estructura. En este caso, el punto B de la estructura soporta mayores esfuerzos. El diagrama se presenta a continuación.

Ilustración 29. Diagrama cortante y flector



Fuente: El autor.

Con el objetivo de relacionar este análisis con el material seleccionado, se determinó el esfuerzo cortante máximo y el esfuerzo normal máximo en el punto crítico por medio del área transversal de la barra y el momento de inercia.

-Momento de Inercia de una barra-

$$I_b = \pi * \frac{D_b^4}{64}$$

$$I_b = 2,485E-09 \text{ m}^4$$

-Área de la sección transversal-

$$A_b = \pi * \frac{D_b^2}{4}$$

$$A_b = 0,000176715 \text{ m}^2$$

-Esfuerzo cortante máximo-

$$\tau_{max} = \frac{4 * F_a}{3 * A_b}$$

$$\tau_{max} = 399124750,3 \text{ Pa}$$

-Esfuerzo normal máximo, ecuación 3-

$$\sigma_{max} = (F_B * D_b / 2) / I_b$$

$$\sigma_{max} = -6.39E+09 \text{ Pa}$$

Por último, y con ayuda de la tabla “Resistencia a la tensión” del libro Diseño en Ingeniería Mecánica (Buudynas & Neisbelt, 2012), se consultó el valor del esfuerzo a la fluencia del acero 1020 –S<sub>y</sub>–.

$$S_y = 1520 \text{ MPa}$$

Con dicho valor se determinó el factor de seguridad -n- que tendría la barra.

$$n = (S_y * 1000000) / (2 * \tau_{max})$$

$$n = 1,904166553$$

Como resultado del cálculo se obtuvo un factor de seguridad que se encuentra dentro de los márgenes de un diseño aceptable, teniendo en cuenta que se pueden usar materiales con mejores características pero, así mismo, más costosos. A continuación es posible ver la tabla en la que se implementaron las ecuaciones con sus respectivos resultados, símbolos y unidades.

Tabla 6. Tabla dinámica con ecuaciones implementadas

Variable	Descripción	S. Excel	Valor	Unidades	Ecuación Excel
F_h	Fuerza a la que halan	F_h	5000	N	Supuesto
F_rc	Fuerza resultante en cada cilindro	F_rc	1666,6667	N	$F_h/3$
C_d	Cargo distribuida por barra	C_d	52083,333	N/m	$F_c/L_s$
F_d	Fuerza en el punto d	F_d	1666,6667	N	$C_d*L_s$
F_c	Fuerza en el punto c	F_c	-20658,54	N	Ecuación 1
F_b	Fuerza en el punto b	F_b	75223,577	N	Ecuación 2
F_a	Fuerza en el punto a	F_a	52898,374	N	$F_b+F_c-F_d$
I_b	Momento de inercia	I_b	2,485E-09	m4	$(PI()*D_b^4)/64$
A_b	Área sección transversal	A_b	0,0001767	m2	$PI()*(D_b/2)^2$
$\tau_{max}$	Esfuerzo cortante máximo	$\tau_{max}$	399124750	Pa	$(4*F_a)/(3*A_b)$
$\sigma_{max}$	Esfuerzo normal máximo	$\sigma_{max}$	-6,39E+09	Pa	Ecuación 3
S_y	Esfuerzo de fluencia 1045 T y R.	S_y	1520	MPa	Tablas
n	Factor de seguridad	n	1,9041666	-	

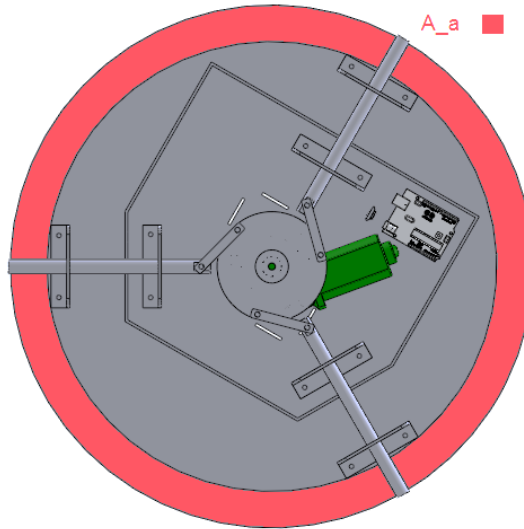
Fuente. El autor.

### 3.7.2 Cálculos tapa

El desarrollo de los cálculos resultantes del análisis matemático se hizo por medio de Excel, en donde se declararon variables globales y se asociaron a valores que fueron obtenidos por medio de mediciones, ecuaciones o tablas.

Se consideró la fuerza que una llanta puede hacer sobre la superficie de la tapa, partiendo de un peso de 1.000Kg, y se tomó como fuerza de reacción la fuerza ( $F_t$ ) que cae sobre el área de análisis ( $A_a$ ).

Ilustración 30. Área de interés para el análisis



Fuente: El autor.

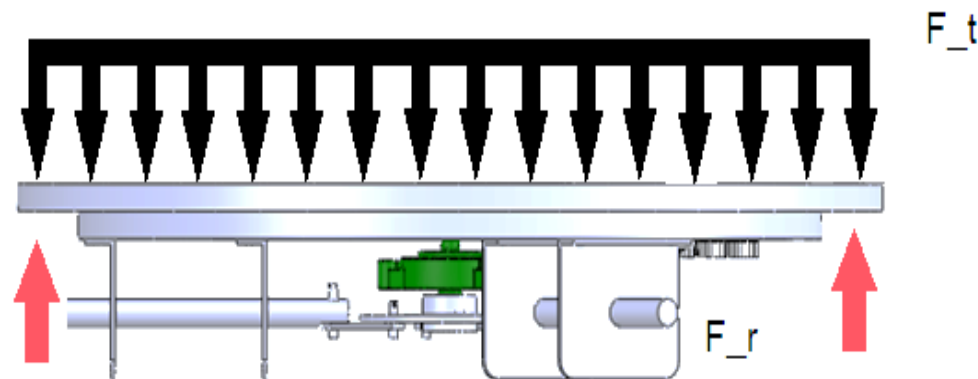
Tabla 7. Tabla de parámetros iniciales

Variable	Descripción	Símbolo Excel	Valor	Und	Ecuación Excel
D_i	Diámetro interior de la tapa	D_i	0,23449	m	Prototipo
D_e	Diámetro exterior de la tapa	D_e	0,57	m	Prototipo
P_a	Peso automóvil	P_a	10000	Kg	tablas
F_t	Fuerza automóvil	F_t	98000	N	P_a*9,8
A_i	Área interior de la tapa	A_i	0,043185659	m2	3,1416*(D_i/2)^2
A_e	Área exterior de la tapa	A_e	0,256809083	m2	3,1617*(D_e/2)^2

Fuente. El autor.

Con esta información se determinó el máximo esfuerzo normal que soportaría la tapa. Luego, con base en la teoría de Von Mises- Hencky, se calculó en esfuerzo normal de Von Mises ( $\sigma_{vm}$ -) con ayuda de la resistencia a la fluencia de la fibra de vidrio de la que está hecha la tapa.

Ilustración 31. Fuerza distribuida sobre la superficie de la tapa



Fuente: El autor.

Tabla 8. Resultados del análisis.

Variable	Descripción	Sim Excel	Valor	Unidades	Ecuación Excel
A_a	Área de análisis	A_a	0,21362342	m2	A_e-A_i
$\sigma_{\max}$	Esfuerzo normal máximo	$\sigma_{\max}$	458751,191	Pa	F_t/A_a
$\sigma_f$	Resistencia a la fluencia de la fibra	$\sigma_f$	1517257	Pa	tabla
$\sigma_{vm}$	Esfuerzo normal de Von Mises	$\sigma_{vm}$	1072862,71	Pa	$((\sigma_f^2)/(2))^{(1/2)}$
N	Factor de seguridad	n	1,41421356	-	$\sigma_f/\sigma_{vm}$

Fuente. El autor.

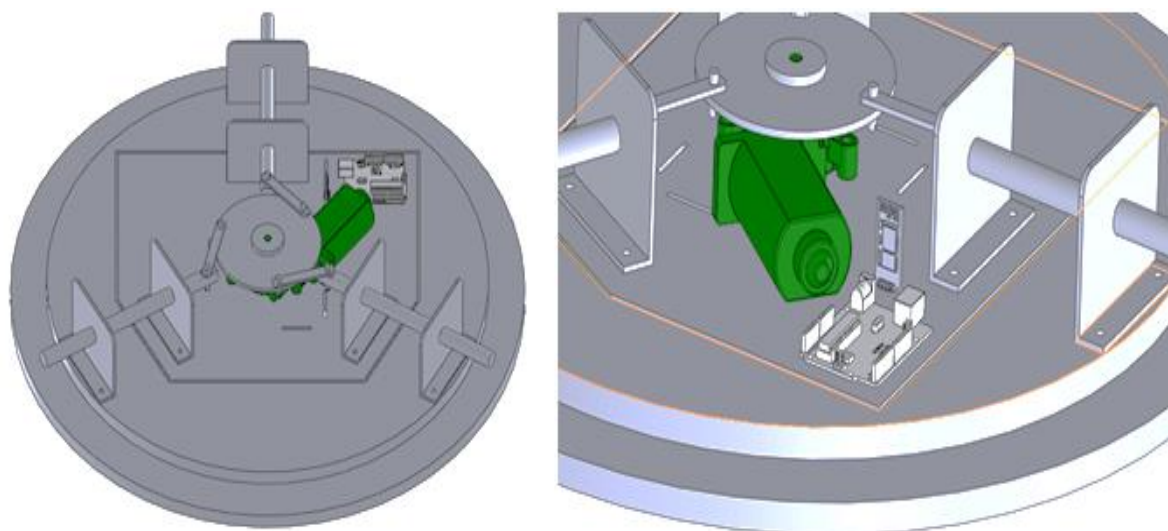
Como resultado del análisis se determinó un factor de seguridad  $n = 1,41421356$  el cual es algo bajo. Sin embargo, es importante tener presente que la fuerza que se consideró es alta en relación a lo que podría llegar a soportar un tapa en la calle.

### 3.8 VALIDACIÓN DEL CAD

Teniendo en cuenta que la tapa puede ser sometida a fuerzas por parte de personas que deseen hurtarla, fue necesario someter el CAD a un análisis de esfuerzos antes de empezar su construcción, con el ánimo de verificar que los materiales seleccionados fueran los correctos.

El análisis se realizó sobre los elementos que estuvieran más propensos a soportar grandes fuerzas. Para este caso, la tapa y el sistema de pasadores fueron los seleccionados.

Ilustración 32. Tapa y sistema de pasadores



Fuente: El autor.

#### 3.8.1 Análisis de esfuerzos para tapa

Para la tapa se consideró la madera como material y se le aplicó una fuerza distribuida equivalente a 1 tonelada. El análisis de esfuerzo se realizó por medio de SolidWorks® con la herramienta SimulationXpress Study. A continuación se puede observar el informe generado en este estudio.

Tabla 9. Detalles de carga para tapa

Nombre de carga	Detalles de carga	
Fuerza-1	Entidades:	1 cara(s)
	Tipo:	Aplicar fuerza normal
	Valor:	9800 N

Fuente 2. SimulationXpress Study.

La tapa fue sometida a una fuerza equivalente a 9800 N en su cara superior, tomando como soporte el anillo lateral de la parte inferior que es donde descansa la tapa contra el suelo. El estudio reflejó datos de tensión, desplazamiento y factor de seguridad. La información de la malla calculada por la herramienta de SimulationXpress Study es la que se relaciona a continuación.

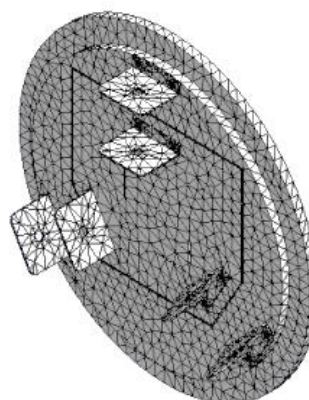
Tabla 10. Información de malla para tapa

Información de malla	
Número total de nodos	26583
Número total de elementos	15106
Cociente máximo de aspecto	24.504
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	69.6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	2.59
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	18.8813 mm
Tolerancia	0.944067 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Fuente: SimulationXpress Study.

Ilustración 33. Malla de tapa en SimulationXpress Study

Nombre de modelo: Alcantarilla  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
Tipo de malla: Malla de sólido



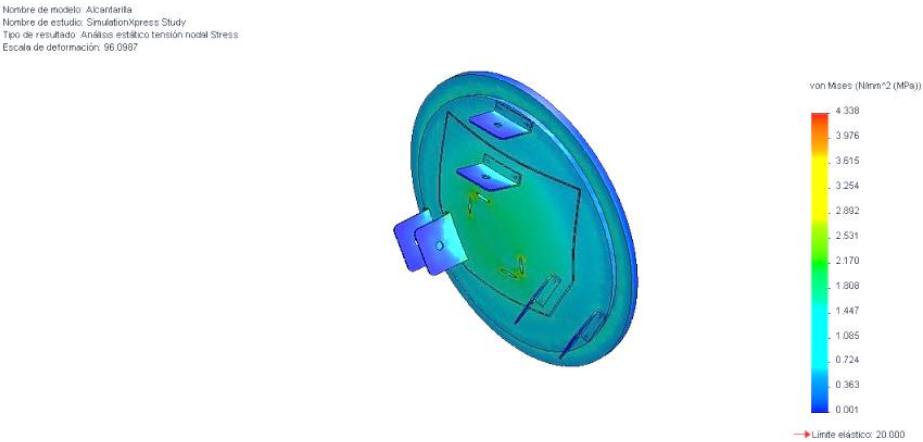
Fuente: SimulationXpress Study.

Tabla 11. Información de estudio para tapa

Nombre	Tipo	Mínimo	Máximo
Tensión	VON: Tensión de von Mises	0.00124433 N/mm <sup>2</sup> (MPa)	4.33779 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	1 Nodo: 20777	2 Nodo: 13454
Desplazamiento	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 501	0.59314 mm Nodo: 4042

Fuente: SimulationXpress Study

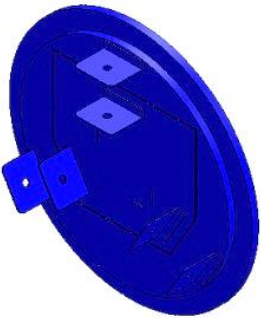
**Ilustración 34. Alcantarilla-SimulationXpress Study-Tensiones**



Fuente: El autor.

**Ilustración 35. Alcantarilla-SimulationXpress Study-Factor de seguridad**

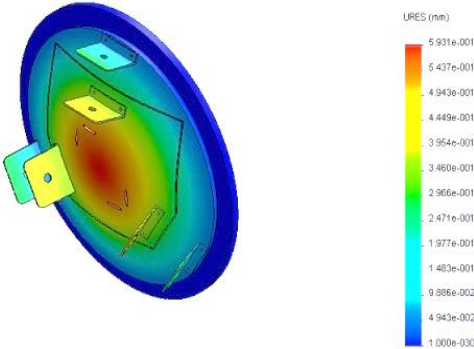
Nombre de modelo: Alcantarilla  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety  
Criterio: Tensiones von Mises máx.  
Rojo < FOS = 1      < Azul



Fuente: El autor.

**Ilustración 36. Alcantarilla-SimulationXpress Study-Desplazamientos**

Nombre de modelo: Alcantarilla  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement  
Escala de deformación: 96.0987



Fuente: El autor.

Los resultados obtenidos fueron positivos, siendo posible observar cuáles son los puntos débiles de la estructura. Sin embargo, para el objetivo de construcción del prototipo es más que suficiente, ya que el factor de seguridad es de 4, sin contar que el material escogido fue madera cuando en la del prototipo real se usaría madera con recubrimiento en fibra de vidrio, lo que genera mayor rigidez a la tapa.

### 3.8.2 Análisis de esfuerzos para pasadores

Para los pasadores se tomó como material de prueba el acero 1020, y para los soportes se consideró el mismo ya que SimulationXpress Study no permite manejar dos materiales diferentes en un mismo modelo. Respecto a las fuerzas, por un lado se ejerció una carga distribuida equivalente a 2254 N, lo que representa 230 Kg sobre los pasadores, y una fuerza igual pero opuesta en el aro sobre el cual descansa la tapa contra el suelo. Estas fuerzas sumadas son equivalentes a 4508 N. A continuación se puede observar el informe generado en este estudio.

Tabla 12. Detalles carga de pasadores

Nombre de carga	Detalles de carga	
Fuerza-1	Entidades:	3 cara(s)
	Tipo:	Aplicar fuerza normal
	Valor:	2254 N
Fuerza-2	Entidades:	1 cara(s)
	Tipo:	Aplicar fuerza normal
	Valor:	2254 N

Fuente: SimulationXpress Study

Las tablas que se presentan a continuación contienen la información detallada de la malla generada en el estudio y los resultados de la tensión, desplazamiento y factor de seguridad obtenidos.

Tabla 13. Información de malla para pasadores

Información de malla	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	18.9878 mm
Tolerancia	0.94939 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	27982
Número total de elementos	15858
Cociente máximo de aspecto	24.341
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	70.1
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	2.24

Fuente: SimulationXpress Study

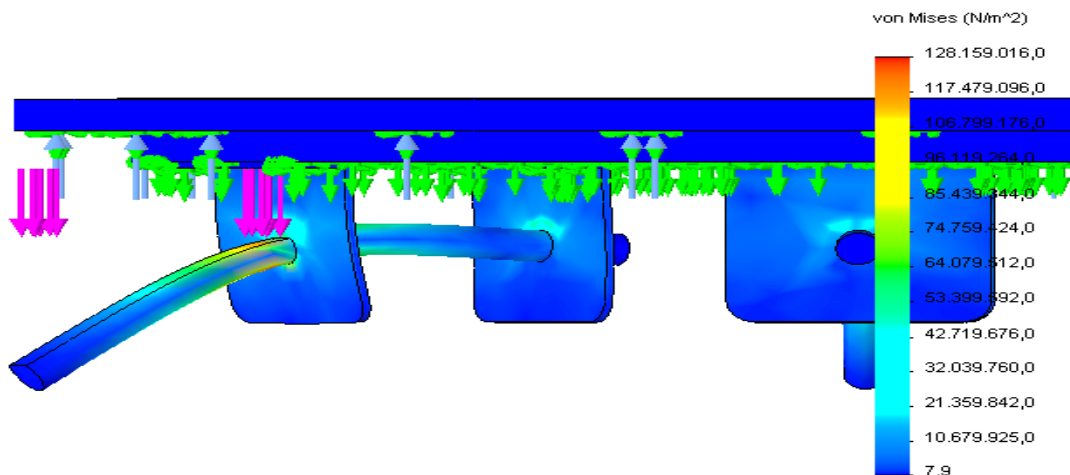
Tabla 14. Resultados de estudio para pasadores

Nombre	Tipo	Mínimo	Máximo
Tensión	VON: Tensión de von Mises	7.89598 N/m <sup>2</sup> Nodo: 15180	1.28159e+008 N/m <sup>2</sup> Nodo: 27847
Desplazamiento	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 506	0.826442 mm Nodo: 203
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	3 Nodo: 27847	4 Nodo: 15180

Fuente 3. SimulationXpress Study

En el estudio se llevó el material al límite para conocer su deformación y puntos críticos. En la siguiente imagen se puede observar que la parte del pasador con mayor tensión se encuentra en la base del soporte (color rojo), mientras en que en las demás partes no se presenta una tensión considerable (color azul). Es importante tener en cuenta que normalmente el pasador no se encontrará en voladizo como se puede observar en el estudio, ya que éste entra en una cavidad que se encuentra en el pavimento; por lo tanto, el factor de seguridad es mayor al obtenido por el estudio.

Ilustración 37. Alcantarilla-SimulationXpress Study-Tensiones-Stress



Fuente: El autor.

**Ilustración 38. Alcantarilla-SimulationXpress Study-Factor de seguridad-Factor of Safety**

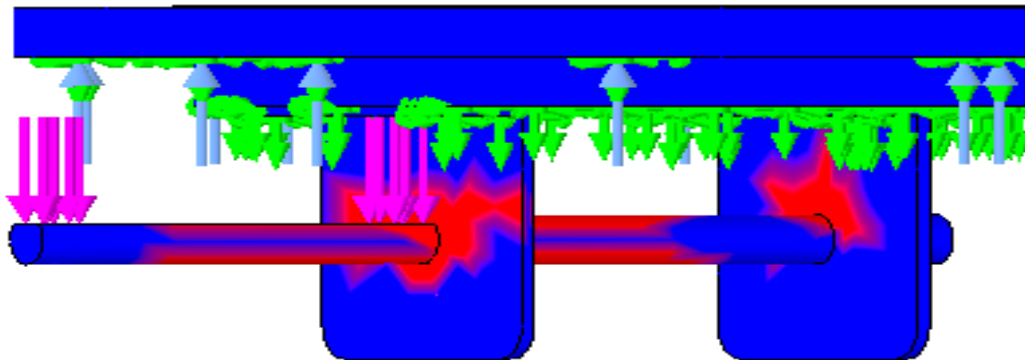
Nombre de modelo: Alcantarilla  
Nombre de estudio: SimulationXpress Study  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety  
Orden: Tensiones von Mises máx.  
Rango: FOS = 1 ... = 2.00



Fuente: El autor.

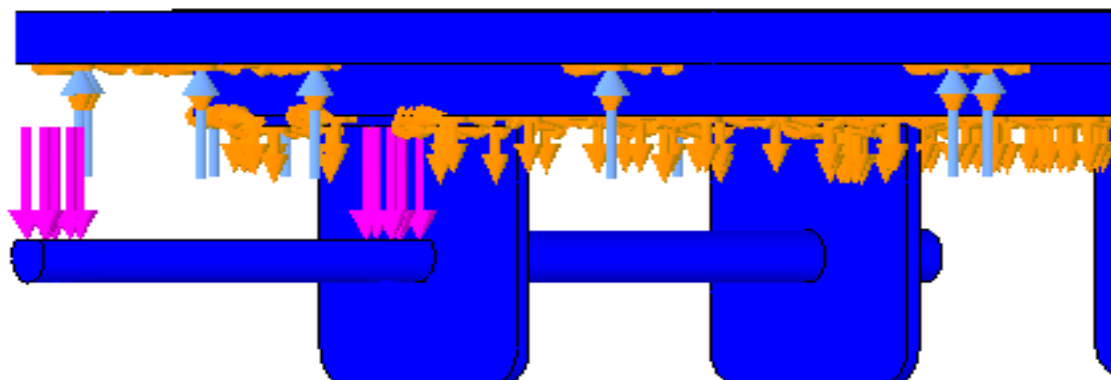
Para detectar los puntos críticos del sistema se trabajó con dos factores de seguridad (FOS): uno por encima del rango establecido por SolidWorks® y otro dentro de lo recomendado. Con este ejercicio fue posible examinar los pasadores y soportes bajo las peores condiciones, pues con el factor de seguridad equivalente a 2 es posible encontrar más zonas de deformación y tensiones altas. En las siguientes ilustraciones se observa el mismo sistema sometido a dos factores de seguridad diferentes.

**Ilustración 39. Pasador con factor de seguridad equivalente a 4**



Fuente: El autor.

Ilustración 40. Pasador con factor de seguridad equivalente a 1.5



Fuente: El autor.

### 3.9 ELECTRÓNICA

El diseño electrónico parte del análisis de las necesidades que surgen al instalar una tapa con cierre electromecánico. Para empezar, se tuvo en cuenta que hay que instalar dos sistemas electrónicos: uno en el interior de la tapa y otro en el control que el operario va a llevar; por lo tanto, la parte electrónica se estudiará desde estos dos sistemas, pues ambos prestan servicios diferentes.

Estos sistemas dependen del diseño y especificación de software, ya que el diagrama de bloques del código se encargará de delimitar las necesidades en hardware.

#### 3.9.1 Control externo

El control externo es el encargado de alimentar toda la alcantarilla, por lo tanto, en él hay una batería recargable que sirve como fuente de alimentación, con la capacidad de mover el motor por sí sola en varias ocasiones. Este control también cuenta con una pantalla y un teclado para la interacción con el usuario; la pantalla sirve para visualizar estados y el teclado para digitar claves o seleccionar opciones.

Por otro lado, también es necesario un Microcontrolador para procesar la información ingresada y un dispositivo para la comunicación. El control además tiene dos puertos por lo que envía energía y se produce fuerza electromagnética para activar la placa superior en la tapa.

#### 3.9.2 Circuito interno

El circuito inmerso en la tapa se encargará de recibir la información enviada por el control y mover el motor para el desplazamiento de los pasadores. En él hay un microcontrolador, un puente H y un dispositivo para recibir la información enviada desde el exterior de la tapa. Este circuito se encuentra conectado directamente al sistema de placas de contacto electromagnéticas a la espera de ser alimentado para empezar a funcionar normalmente. El resto del tiempo este sistema se encuentra sin energía.

### 3.10 COMUNICACIÓN

Teniendo en cuenta que la comunicación debe ser encriptada y que los puertos en la tapa se deterioran fácilmente, se buscó un dispositivo con capacidad de realizar la comunicación de forma inalámbrica con su propio sistema de encriptación. Para este caso se tomó como primera opción un dispositivo Bluetooth el cual no necesita internet, cuenta con su propio sistema de encriptación y además posee contraseña. En títulos posteriores se detalla respecto a la configuración de este dispositivo.

**Ilustración 41. Especificaciones técnicas de dispositivos Bluetooth**

#### Características del bluetooth HC-06

Funciona como dispositivo esclavo bluetooth  
Configurable mediante comandos AT  
Bluetooth V2.0+EDR  
Frecuencia de operación: 2.4 GHz Banda ISM  
Modulación: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)  
Potencia de transmisión:  $\leq 4\text{dBm}$ , Class 2  
Sensibilidad:  $\leq -84\text{dBm}$  @ 0.1% BER  
Seguridad: Autenticación y Encriptación  
Perfiles Bluetooth: Puerto serie bluetooth.



#### Características del bluetooth HC-05

Funciona como dispositivo maestro y esclavo bluetooth  
Configurable mediante comandos AT  
Bluetooth V2.0+EDR  
Frecuencia de operación: 2.4 GHz Banda ISM  
Modulación: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)  
Potencia de transmisión:  $\leq 4\text{dBm}$ , Class 2  
Sensibilidad:  $\leq -84\text{dBm}$  @ 0.1% BER  
Seguridad: Autenticación y Encriptación  
Perfiles Bluetooth: Puerto serie bluetooth.



**Fuente: (Geekfactory.mx, 2015)**

Los dispositivos Bluetooth cuentan con contraseña propia que puede ser cambiada por el programador para que solo él pueda acceder a la comunicación. Además de este sistema de autenticación, los Bluetooth también cuenta con uno de encriptación que impide que la información enviada sea interceptada.

Para la comunicación Bluetooth es necesario tener un dispositivo maestro y uno esclavo. El esclavo solo se conecta al maestro con el que se emparejó inicialmente mientras que el maestro es capaz de conectarse con más de un esclavo.

El alcance de comunicación efectivo es hasta de 20 metros al aire libre y 10 metros con obstáculos, lo cual es ideal para los fines de la tapa, ya que el máximo de distancia en su uso serán 2 metros. Por último, la configuración de estos dispositivos se puede realizar por medio de comandos AT mediante la interfaz libre de Arduino.

### 3.11 SELECCIÓN DE MATERIALES

A continuación se presenta una breve descripción de los elementos seleccionados para la construcción del prototipo desde el punto de vista

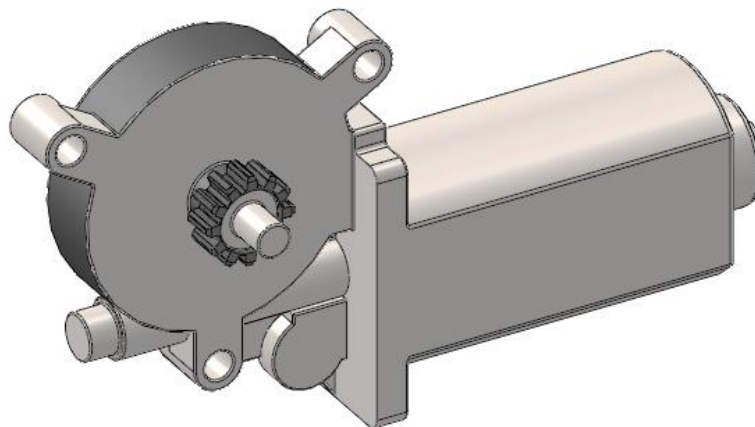
electrónico, nombrando algunos de los factores importantes que influyeron en la selección. Las especificaciones técnicas más precisas se encuentran en los anexos de este documento.

### 3.11.1 Motor

El motor seleccionado posee un sistema sin fin corona que permite tener una relación de transmisión que van desde 1 a 100, con un rendimiento del 97 al 45% (disminuye al aumentar la relación de transmisión) y con los engranajes más silenciosos. Es el mecanismo de reducción de velocidad más empleado, dado que ofrece una gran relación de transmisión en un espacio muy reducido; además, su construcción es relativamente barata respecto a otros sistemas para igual relación.

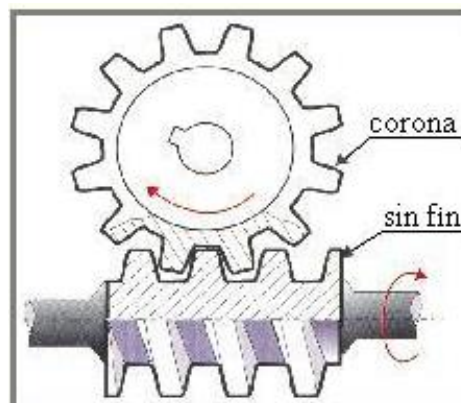
Este sistema se puede considerar como una pieza cilíndrica en la que se enrolla un único diente en forma de hélice. A continuación se presenta el CAD del motor seleccionado. En los anexos se encuentra la ficha técnica del motor con información más detallada.

**Ilustración 42. CAD de motor**



**Fuente: El autor.**

**Ilustración 43. Mecanismo sin fin corona**



**Fuente: (Portaleso.com, 2015)**

### 3.11.2 Microcontrolador

Las pruebas del prototipo en un principio se hacen con arduino uno por la facilidad que presenta trabajar con esta tarjeta, pues teniendo en cuenta que puede ser programada en un software libre, es muy práctica y sencilla de usar. Además, es de considerar que los dispositivos Bluetooth son de la familia arduino y se programan con la interfaz AT, razón por la cual se seleccionó esta tarjeta como controlador de la tapa.

En el capítulo 2 se detallan las características técnicas que posee esta tarjeta y en los anexos se encuentra la hoja técnica.

**Ilustración 44. Arduino UNO**



**Fuente: (Store.ardunio.cc, 2015)**

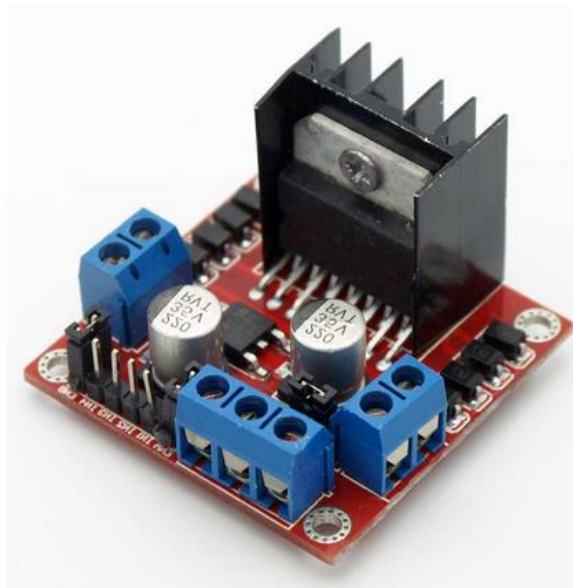
### 3.11.3 Potencia

Para la potencia se usa un puente H. Éste se fabricó para las pruebas y se implementó exitosamente con fines prácticos y de confiabilidad. Para el prototipo se usó esta tarjeta L298 Driver, la cual cuenta con disipador y salida para dos motores.

Esta tarjeta es usada para mover el motor ya que el Arduino por sí solo resulta insuficiente. Su ubicación será en el circuito inmerso en la tapa y estará a la espera de la orden del Arduino para energizar el motor y abrir o cerrar la tapa.

En el capítulo de anexos se encuentran las especificaciones técnicas de esta tarjeta. A continuación se puede observar una tarjeta como la usada en el prototipo.

**Ilustración 45. Puente H L298 Driver Motor**



Fuente: (Linio.com.co, 2015)

#### **3.11.4 Batería**

Teniendo en cuenta que el motor requiere 12 voltios y una corriente superior a 500 mA, se escogió una batería recargable de 12 voltios y 800 mA. Para este tipo de baterías los tamaños son relativamente iguales, sin embargo, la prioridad es encontrar la más pequeña que el mercado ofrezca ya que de su tamaño depende el control de la tapa.

**Ilustración 46. Batería 12 Volts 800mA**



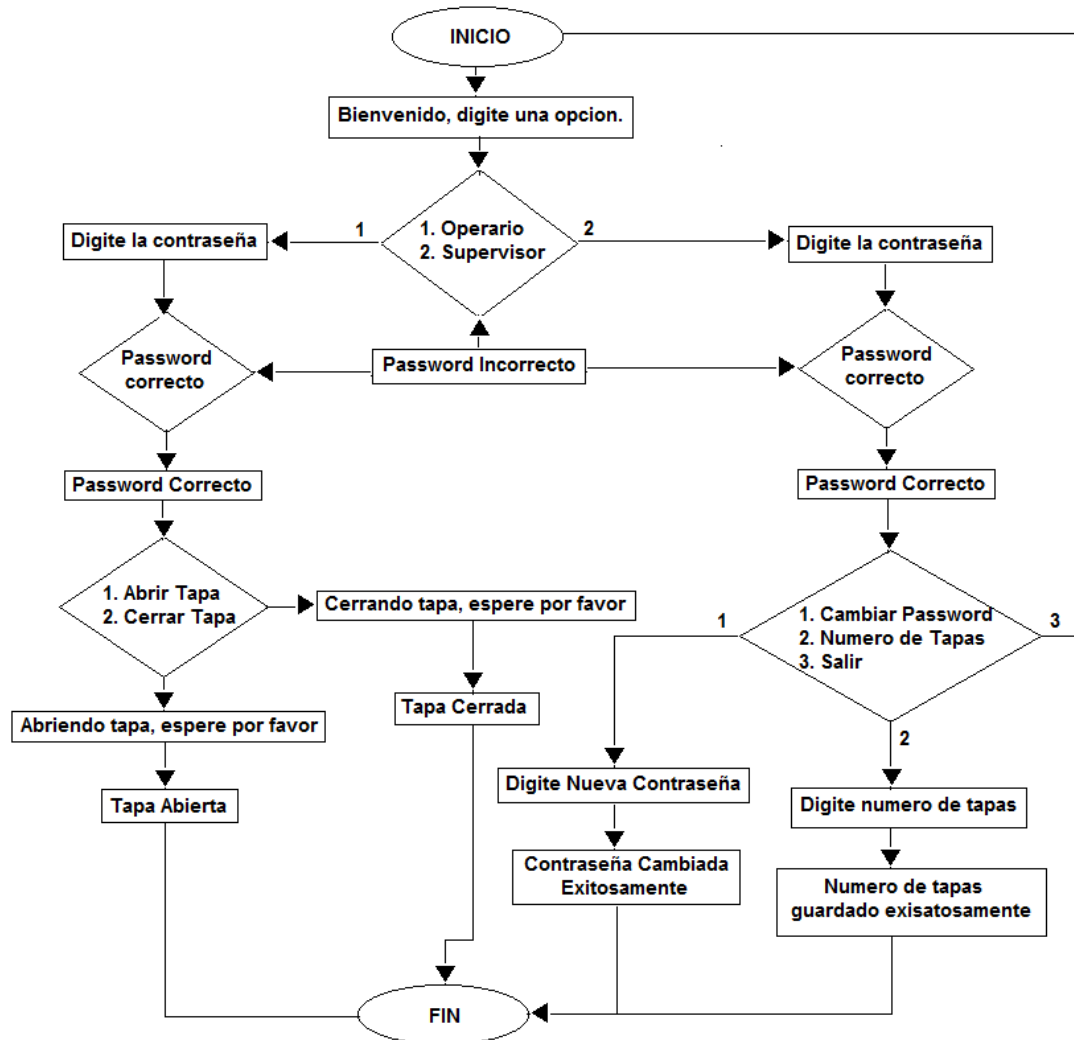
Fuente: (Stereon.com.mx, 2015)

#### **3.12 SOFTWARE**

El diseño de software parte de las necesidades que se tienen en el control de la tapa, por ende, fue necesario realizar un diagrama de flujo para visualizar y entender lo que se requiere que el programa ejecute. Con este diagrama se facilitó la labor de escribir un código.

### 3.12.1 Diagrama de flujo del programa

Ilustración 47. Diagrama de flujo



Fuente: El autor.

Una vez construido este diagrama bastó con empezar a construir el código y realizar pruebas. En el capítulo de construcción se evidenció este proceso y las diferentes modificaciones realizadas a este diagrama preliminar.

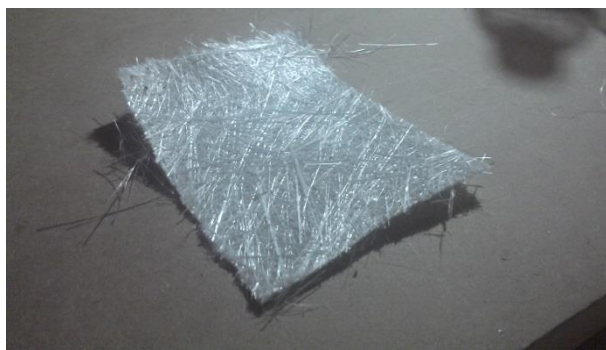
### 3.13 DESARROLLO DEL PROTOTIPO

El proceso de construcción se dividió en tres etapas: consecución de materia prima, adaptación de materiales y ensamblaje; ésto con el fin de hacer un uso adecuado del tiempo, pues en algunos casos los materiales pueden ser difíciles de adquirir o los procesos a los que hay que someter algunas piezas conllevan tiempo y costos adicionales. Un ejemplo claro de esto son los tiempos de secado que requiere la fibra de vidrio o las piezas específicas que requeridas en los procesos de mecanizado.

El autor desarrolló en gran proporción el prototipo; sin embargo, también existen procesos que requieren de expertos, lo permitió en varias ocasiones que las tareas se desarrollaran en paralelo con labores desarrolladas por dichas personas. Esto hizo que las etapas no se desarrollaran en orden consecutivo, sino que por contrario se desarrollaran al tiempo y basadas en el cronograma establecido.

La primera tarea en la construcción fue hacer la compra de los materiales necesarios para empezar el prototipo. No todos los materiales pudieron comprar de inmediato, pues en algunos casos las cantidades eran imposibles de calcular correctamente, razón por la cual los primeros elementos en adquirirse fueron la madera y la fibra de vidrio para la tapa como tal.

**Ilustración 48. Fibra de vidrio**



**Fuente: El autor.**

Con la madera se recurrió a un experto en corte para que con el uso de herramientas especializadas le diera la forma circular y características propias de la tapa. De este proceso resultaron dos placas, una más pequeña que la otra, y con ayuda de un pegante especial de madera y tornillos se unieron, generando lo que sería el alma de la tapa. Esta estructura se comparó con las medidas diseñadas y se realizaron algunos arreglos.

Posteriormente se llevó a cabo el recubrimiento de la madera con la fibra de vidrio. Se inició con la parte inferior de la tapa, puesto que en la parte superior era necesario hacer las cavidades que contendrían los conectores que suben por la fuerza electromagnética del control.

**Ilustración 49. Tapa de madera sin recubrimiento**



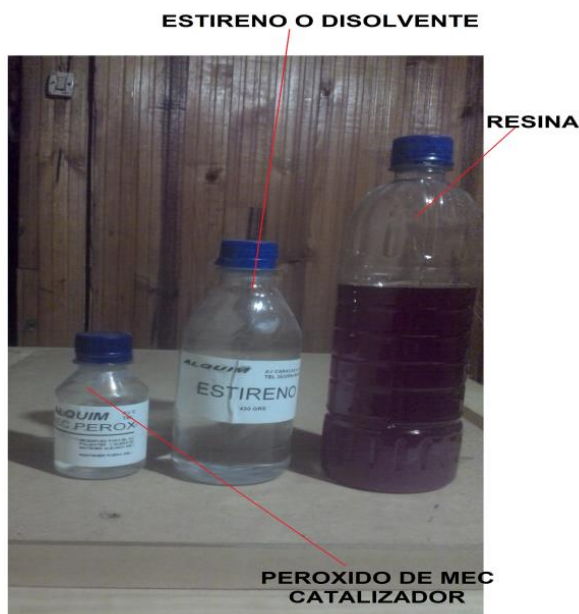
**Fuente: El autor.**

Para la aplicación de la fibra se debió recortar una sección de la misma medida de la cara plana a la que se deseaba aplicar (en lo posible un poco más pequeña). Para ese momento la fibra de vidrio fue fácil de cortar (el uso tijeras es recomendable), por lo tanto, este proceso no resultó dispendioso; sin embargo, el uso de instrumentos de protección como guantes, tapabocas y gafas son obligatorios ya que la fibra posee partículas muy pequeñas que podrían generar problemas de salud.

A continuación se realizó la mezcla de químicos para la fabricación de la resina con la función de solidificar la fibra. Estos químicos se deben mezclar en una proporción específica y es recomendable no producir más del que se piensa usar, ya que se coagula antes de ser usado, lo que implicaría la pérdida del químico puesto que la resina ya no puede ser usada por la viscosidad que adquiere.

La resina está conformada por tres ingredientes principales que se deben mezclar en proporciones específicas, estos son: estireno como disolvente en un 30%, peróxido de MEC o catalizador en un 1% y una resina de baja densidad en un 69%. Es importante tener en cuenta que primero se deben mezclar el estireno con la resina; después de tener una mezcla homogénea se debe agregar el catalizador; una vez hecho esto la resina se debe aplicar lo antes posible.

**Ilustración 50. Químicos para la elaboración de la resina**



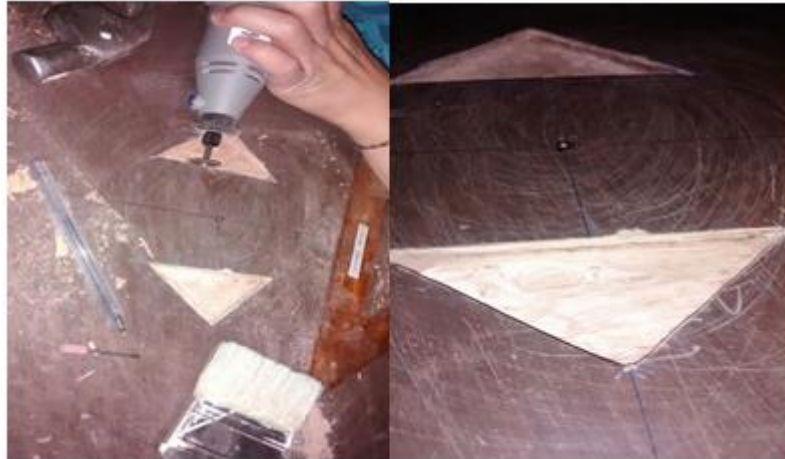
**Fuente: El autor.**

La fibra de vidrio tarda alrededor de 12 horas en solidificarse, por lo tanto se trabajó en otro aspecto de la tapa mientras transcurría este tiempo, sin contar que se debían aplicar al menos dos capas como estas, pues la fibra solo aumenta un milímetro el espesor al prototipo por aplicación.

Al cabo de 12 horas la fibra de vidrio estaba solidificada, y con ayuda de un Motortool y lija se eliminaron las imperfecciones para luego proceder a construir

las cavidades en la parte superior de la tapa. En ellas se alojarían las placas que sirven de puente entre la batería y el circuito inmerso en la tapa. Se tomaron las mediciones correspondientes y con ayuda de la herramienta adecuada se hicieron estos espacios en el prototipo.

**Ilustración 51. Cavidades en la zona superior de la tapa**



**Fuente: El autor.**

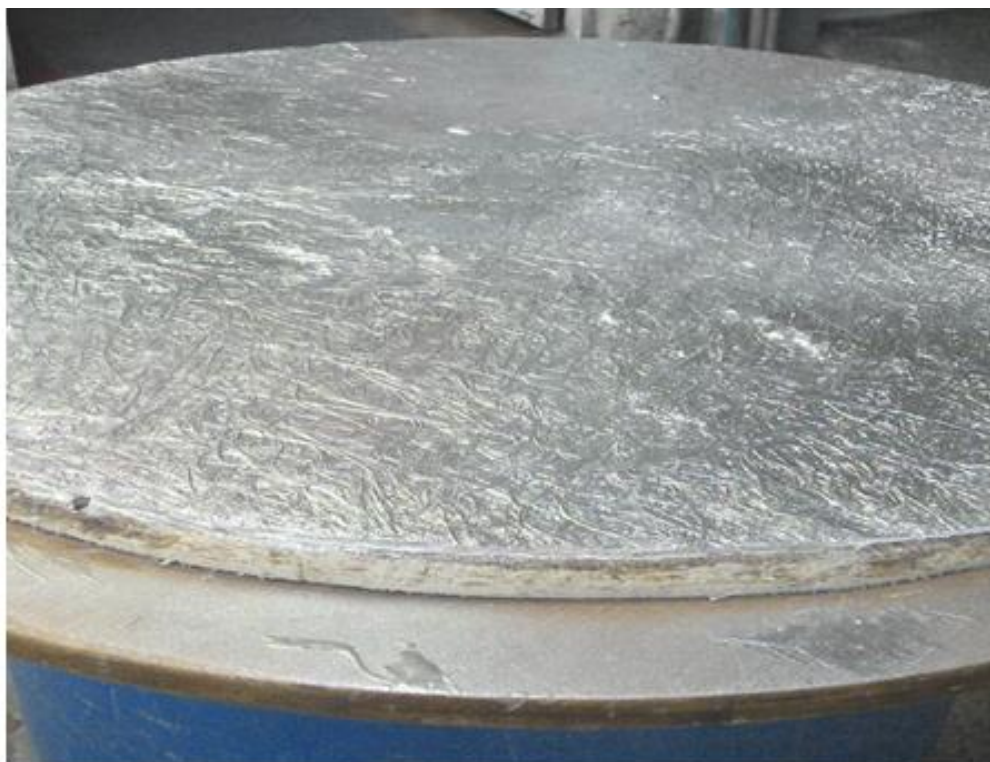
Luego de esto y con ayuda de las medidas obtenidas de los planos del CAD (estos planos se encuentran en los anexos) se adquirieron las placas de hierro y aluminio de los soportes. Con este material se acudió a un especialista en corte, pues el acabado debe ser agradable y preciso para que los pasadores no se detengan por algún tipo de obstrucción no deseada resultante de las medidas.

Teniendo en cuenta este inconveniente, el proceso usado para estos cortes fue el chorro de agua, que es básicamente una mesa de corte que con ayuda de un chorro de agua mezclado con arena y altas presiones corta material hasta de 50 cm. Este proceso es muy limpio y preciso pero suele tardar un tiempo considerable, por lo tanto se continuó agregando la segunda capa de fibra de vidrio en la tapa.

Una vez completadas las capas en la tapa se procedió a posicionar el motor en ella, no sin antes soldar los cables de alimentación ubicados a un costado del mismo. El eje central fue ubicado en el centro de la parte posterior y con ayuda de tres tronillos para madera se aseguró a la tapa, certificando de esta forma un ángulo de cero con respecto a la horizontal.

Para este momento las piezas que se mandaron a cortar fueron recibidas estaban listas para ser sometidas al proceso de doblado. Con ayuda de una dobladora industrial se les dio un ángulo perfecto de 90° a las superficies que sostienen en pie los soportes de los pasadores. Una vez terminado este proceso se realizó la instalación de los soportes y placas en la tapa, no sin antes aplicar la primera capa de fibra de vidrio sobre la parte superior de la tapa y pintar con aerosol de aluminio la parte posterior.

**Ilustración 52. Tapa con fibra de vidrio pintada**



**Fuente: El autor.**

Los soportes de las tapas fueron instalados satisfactoriamente y se comenzó a revisar medidas y verificar las simetrías de los agujeros por donde estarían los pasadores; esto con el ánimo de tomar medidas correctivas antes de fijarlos permanentemente en la tapa.

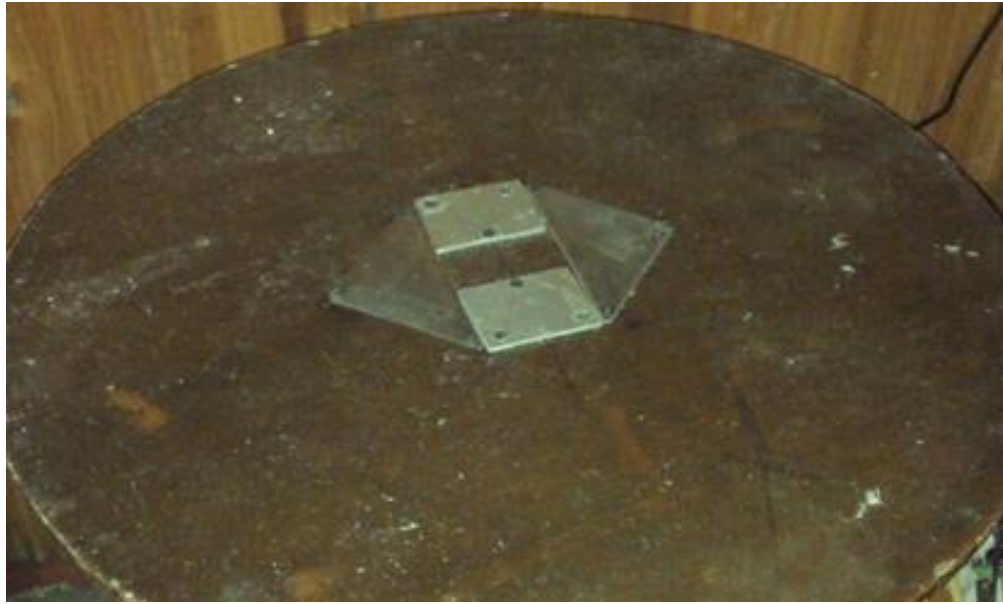
**Ilustración 53. Soportes de aluminio instalados en la parte inferior de la tapa**



**Fuente: El autor.**

A continuación se instalaron las placas inferiores dentro de las cavidades. Estas son las encargadas de hacer o no contacto con las placas superiores y permitir el paso de la corriente. En la instalación se verifica el correcto movimiento de las placas pequeñas ante la aparición de una fuerza electromagnética, asimismo, con ayuda de un multímetro se comprueba la continuidad con los cables que por medio de orificios internos llegan a la parte inferior de la tapa para comunicarse con el motor.

**Ilustración 54. Placas de sistema electromagnéticas instaladas**



**Fuente: El autor.**

Para continuar con el proceso de construcción se empezó a fabricar la pieza que se encarga de sujetar el piñón del motor para transmitir el movimiento a la placa central que a su vez desplaza los pasadores. Esta pieza es un cilindro que posee dos orificios roscados en su parte lateral y dos en su parte superior, los cuales son para la sujeción al motor y la placa central respectivamente. Usando el centro de mecanizado se realizó el proceso de torneado, taladrado y roscado del elemento para conseguir el resultado que se observa en la siguiente ilustración.

**Ilustración 55. Sujeción para motor**



**Fuente: El autor.**

Con la ayuda de tornillos de precisión, la pieza de sujeción fue ajustada al motor y sometida a algunas pruebas básicas de movimiento y nivel para verificar el correcto funcionamiento y alineación. Luego de realizar estas

comprobaciones, la placa central fue instalada sobre el motor respetando la dirección de los orificios hacia los soportes de los pasadores con el fin de evitar colisiones con el motor.

**Ilustración 56. Sujeción instalad en el motor**



**Fuente: El autor.**

**Ilustración 57. Instalación de la sujeción a la placa central**



**Fuente: El autor.**

**Ilustración 58. Sistema de transmisión motor-placa central**

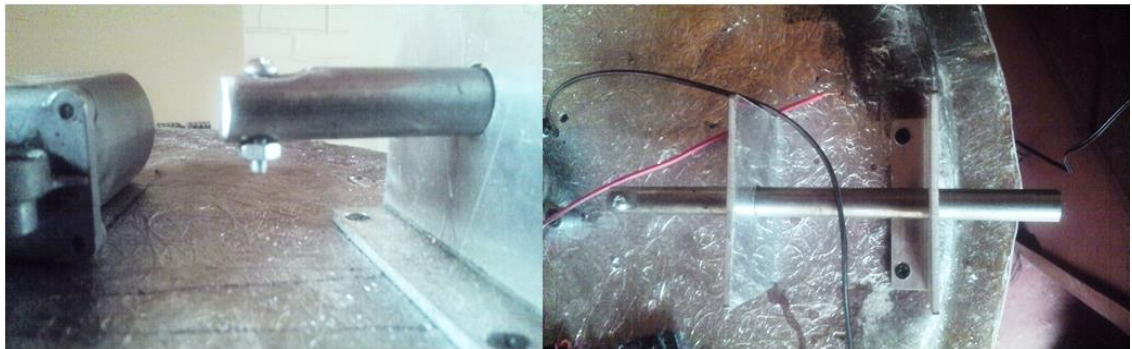


**Fuente: El autor.**

Habiendo ensamblado esta transmisión ya fue posible fabricar los pasadores del prototipo. Estos consisten en una barra de acero de 22cm que posee un fresado y un taladrado en una de sus extremidades para ubicar el tornillo que servirá de pasador. El diámetro de esta barra es comercial, por lo tanto no fue necesario cilindrar. Los pasadores fueron instalados en los soportes y se verificó que las dimensiones estuvieran correctas.

En esta etapa del diseño se presentó uno de los primero inconvenientes, ya que el movimiento de los pasadores produjo un ruido agudo, resultado del roce de los metales. Inicialmente se propuso agregar un poco de grasa, pero por el momento no se solucionó definitivamente.

**Ilustración 59. Pasador instalado en soportes**



**Fuente: El autor.**

En la anterior ilustración es posible observar los pasadores instalados en los soportes. A éstos también se les efectuaron unas verificaciones de niveles y alcance para reducir al máximo el error acumulativo.

En esta etapa de construcción ya fue posible realizar algunas pruebas mecánicas sobre la tapa, pues el sistema a nivel mecánica ya era funcional. En las siguientes imágenes se encuentra el sistema con los pasadores desplazados totalmente en ambas direcciones sin presentar ningún inconveniente.

**Ilustración 60. Sistema mecánico extendido y recogido al máximo**



**Fuente: El autor.**

Paralelo a esto se inició la construcción de la caja inmersa en la tapa y del control externo. Aunque en el diseño ya existía un lugar adecuado para el circuito inmerso, éste fue modificado debido a que los pines del motor se encontraban en la dirección opuesta. Los dispositivos aun no fueron instalados en el contenedor encargado de protegerlos del agua, sin embargo, con ellos se realizaron algunas conexiones de prueba para verificar el correcto funcionamiento mecánico. Junto a esto se construyeron las terminales del control imantadas que tienen como función energizar la tapa.

**Ilustración 61. Placas terminales para energizar tapa**



**Fuente: El autor.**

**Ilustración 62. Prototipo con componentes en su nueva ubicación**

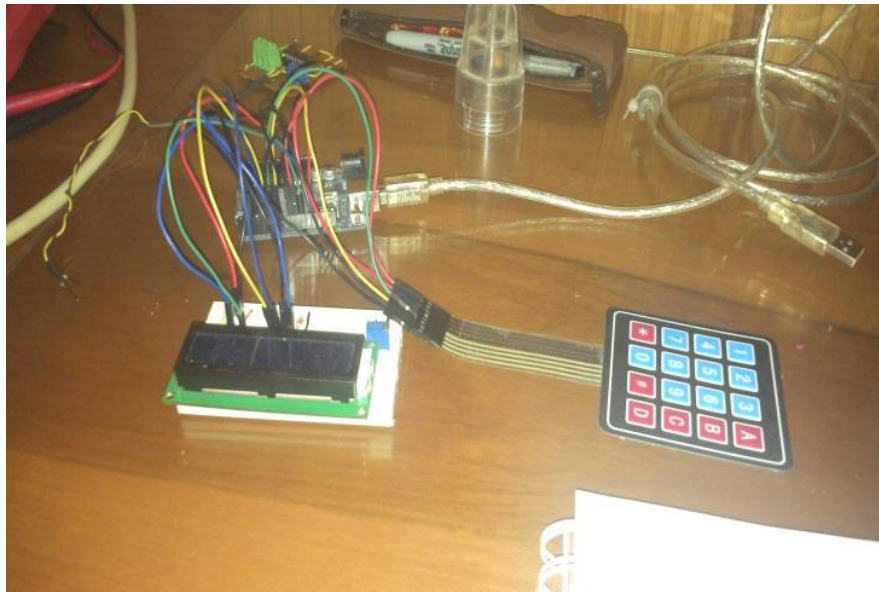


**Fuente: El autor.**

Por medio de un teclado y una LCD alfanumérica se realizaron las primeras pruebas electrónicas usando un integrado L298d como driver para el motor y dos placas arduino, una como controlador y otra como receptor. Para estas pruebas se escribió un código base en el que se configuró un menú para la selección de supervisor y operario; en cada uno de ellos se validó una

contraseña. El envío se hizo por medio de cables, pues para ese momento no se contaba con los dispositivos Bluetooth.

**Ilustración 63. Circuito de pruebas para comunicación e interfaz**



**Fuente: El autor.**

En la siguiente ilustración se puede apreciar la interfaz del prototipo con los mensajes de bienvenida y con el menú de supervisar y usuarios. Estas pruebas se realizaron obteniendo resultados positivos, por lo tanto se hizo la compra de los módulos bluetooth para empezar su configuración e implementación a los circuito de prueba.

**Ilustración 64. Interfaz gráfica inicial del prototipo**



**Fuente: El autor.**

La configuración de los dispositivos Bluetooth se realizó por medio de los comandos AT del arduino, pues con ellos es posible emparejarlos, configurarlos como esclavo o maestro y establecer las contraseñas de acceso. Para las pruebas se estableció una contraseña sencilla y se envió una trama de datos alfanuméricos cada cierto tiempo, los cuales fueron visualizados en el monitor serial de arduino mientras se realizaban pruebas de alcance y confiabilidad de los dispositivos, ampliando la distancia existente entre ellos o generando obstrucciones con diferentes materiales como metal, madera, fibra de vidrio y cemento. Dichas pruebas se realizaron sin ningún inconveniente de pérdidas de información, por lo tanto se inició el acople de estos dispositivos en el circuito de pruebas.

**Ilustración 65. Código de programación de los dispositivos Bluetooth**

```
✓ ➡ 📄 ⬆ ⬇
CONFIGURACION_DEFINITIVA$
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial BTSerial(2, 3); // RX | TX

void setup()
{
  pinMode(9, OUTPUT);
  digitalWrite(9, HIGH);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Enter AT commands:");
  BTSerial.begin(38400); // HC-05 default speed in AT command mode
}

void loop()
{
  // Keep reading from HC-05 and send to Arduino Serial Monitor
  if (BTSerial.available())
    Serial.write(BTSerial.read());

  // Keep reading from Arduino Serial Monitor and send to HC-05
  if (Serial.available())
    BTSerial.write(Serial.read());
}
```

**Fuente: El autor.**

Hasta este punto se dispuso de información suficiente para empezar la construcción del control externo y del contenedor de los circuitos internos de la tapa. El material seleccionado es el acrílico, y aunque este material es de fácil manipulación, se recurrió a un lugar especializado en corte con láser para asegurar la estética y la hermeticidad tanto del control como del circuito inmerso en la tapa. Estos cortes tardaron un tiempo considerable, por lo tanto se continuó con el ensamble del prototipo con el objetivo de tener la parte mecánica funcionando, para por último realizar pruebas de electrónica y software.

**Ilustración 66. Espacio para carga de control**



**Fuente: El autor.**

Al recibir los cortes del acrílico se inició el ensamble de piezas y se instalaron los componentes internos de cada una de las cajas para luego acoplarlas a la parte mecánica de la tapa. Con esto se empezó a realizar pruebas generales y los diferentes ajustes de programación necesarios.

**Ilustración 67. Tapa superior del control**



**Fuente: El autor.**

Posteriormente se instalaron los accesorios necesarios para impedir el paso del agua en cada uno de los componentes y cavidades. Asimismo se hicieron los orificios a la tapa por los que pasarían las aguas lluvias que normalmente soporta.

Por último se realizaron pruebas de impermeabilidad y funcionamiento con excelentes resultados. Sin embargo, se hizo evidente que este prototipo puede ser aún mejor con algunas mejoras sencillas y otras no tanto, razón por la cual que se dedica un capítulo de este texto para hablar de estas mejoras y de cuáles serían las líneas futuras que puede llegar a tener el prototipo.

## 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La etapa final del proyecto necesita un análisis cuantitativo para evaluar los resultados obtenidos y validar las decisiones de diseño tomadas. Por esta razón se realizó un análisis de costos y se comparó con los precios actuales de las alcantarillas convencionales, para por último hablar de ellos y verificar el cumplimiento de los objetivos planteados en el segundo capítulo. Anexo a esto se describen algunas posibles mejoras que pueden tener versiones futuras.

### 4.1 ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos es, simplemente, el proceso de identificación de los recursos necesarios para llevar a cabo una labor o proyecto. Éste determina la calidad y cantidad de recursos necesarios. Entre otros factores, analiza el costo del proyecto en términos de dinero.

El modelo que se empleó para analizar los costos está basado en una metodología que aborda 5 aspectos importantes que son: análisis de costos, identificación de beneficios, cálculo de retorno, almacenamiento de información y análisis de resultados para validación posterior.

Ilustración 68. Pilares del análisis de costos



Fuente: (Solarte, 2015)

Visto de esta manera, se empezó por analizar los costos involucrados en la fabricación del prototipo. Por tal razón se construyó la tabla que se presenta a continuación, relacionando los materiales y sus respectivos costos. Es de aclarar que la tabla de costos no se incluyó precios de conceptos como mano de obra y transporte ya que estos se manejaron por aparte; sin embargo, más adelante se incluyen para hacer válido el estudio.

Tabla 15. Costos de fabricación del prototipo

Materia prima o proceso	Cant.	Costo Unidad	Total
Láminas de madera	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Corte madera	N/A	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
Fibra de vidrio y químicos	1	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
Placa de aluminio	1	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
Placa de hierro	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Barra de SAE 1020	1	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00
Corte placas de hierro y aluminio	N/A	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
Acrílico	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Corte para acrílico	N/A	\$ 17.000,00	\$ 17.000,00

<b>Materia prima o proceso</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo Unidad</b>	<b>Total</b>
Motor	1	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
Batería	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Cableado	1	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
LCD Alfanumérica	1	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00
Teclado	1	\$ 9.000,00	\$ 9.000,00
Arduino	2	\$ 38.000,00	\$ 76.000,00
Puente H L293d	1	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00
Imanes de neodimio	2	\$ 3.000,00	\$ 6.000,00
Módulos Bluetooth	2	\$ 27.000,00	\$ 54.000,00
Tornillos	N/A	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
<b>Total</b>			<b>\$ 485.000,00</b>

Fuente: El autor.

Como conclusión del primer paso del estudio de costos, se encontró que el prototipo tiene un costo total de 485.000 pesos, lo que es suficiente información como para iniciar la segunda etapa de este proceso, que es el cálculo de los beneficios, y consiste en comparar el valor de la tapa convencional con la desarrollada.

Teniendo en cuenta la información presentada en el segundo capítulo, el costo promedio de una tapa de alcantarilla es 350.000 pesos; precio que si se compara con el del prototipo es bajo a primera vista. Sin embargo, esta comparación no es correcta, pues en ella no se tiene en cuenta que en promedio 1.600 tapas convencionales son robadas al año, lo que significaría que la tapa que cuesta 350 mil pesos debe ser comprada al menos 2 veces al año, mientras que la desarrollada no puede ser hurtada. Visto de esta manera, la tapa prototipo es más rentable.

El siguiente paso en el análisis de costos es calcular el retorno de la inversión, es decir, el tiempo que llevaría recuperar el dinero que se invirtió en la construcción del prototipo. En este caso podría resultar un poco apresurado hacer este tipo de análisis, pues este proyecto se desarrolló solo un prototipo y no una versión final. Sin embargo, si se hace como simple ejercicio, el resultado sería un poco incierto, pues las tapas deberían ser vendidas al entidades públicas que funcionan por medio de licitaciones, las cuales, en muchas ocasiones, suelen tardar más de la cuenta; pero hay que considerar que si estas resultan los pagos son seguros. Luego, si las tapas se vendieran de manera exitosa la inversión sería recuperada de inmediato.

Con base en lo anterior es posible abordar la última etapa del estudio, la cual consiste en analizar la información recolectada. Para este ejercicio se pueden concluir dos cosas sobresalientes: la primera, que los costos del prototipo podrían ser más altos ya que comparado con el de mantener una tapa convencional en su lugar, la tapa desarrollada es muy económica; y la segunda, que si se quisiera iniciar un modelo de negocio con este desarrollo tecnológico se correría un gran riesgo, pues los clientes potenciales son entidades públicas, lo que significa que existen demasiadas variables para que un negocio pueda ser concretado.

## **4.2 POSIBLES MEJORAS**

Todos los dispositivos desarrollados por la humanidad pueden ser mejorados, sin embargo, en algunos casos conseguir un avance importante en un prototipo no es tarea fácil, debido a que en cada uno de ellos el autor desarrolla la mejor versión posible. Por esta razón es trascendental que el diseñador y/o constructor exponga posibles mejoras, ya que es él quien conoce las debilidades y fortalezas de su creación.

Teniendo en cuenta lo anterior se desarrolló una lista de potenciales perfeccionamientos para el prototipo de la tapa de pozo de inspección desarrollado en este trabajo, que son fruto de la experiencia adquirida en su construcción y de los consejos recibidos por evaluadores y colaboradores. Este listado no se centralizó en un tema en especial, pues las mejoras pueden ser implementadas en cualquier rama de desarrollo; luego en mecánica, electrónica o en el software se pueden encontrar posibilidades de generar una mejor creación. A continuación se enumeran algunas de las sugerencias más importantes.

- i. La instalación de sensores internos para determinar en qué estado se encuentran los pasadores es una posible mejora, pues el operario podría cometer errores al no conocer el estado de la tapa o el motor podría presentar fallas; por lo tanto, el saber el estado de los pasadores sería de gran ayuda.
- ii. Posibles fallas en los sistemas electrónicos internos podrían dejar la alcantarilla totalmente inservible, es por eso que sería recomendable manejar dos alternativas para abrir la tapa.
- iii. El controlador podría presentar fallas y es por eso que un sensor de corriente sería una excelente opción para disipar corrientes no deseadas en el motor.
- iv. El modelo que se propone es por mucho, más económico que una tapa convencional, sin contar que éste no se está construyendo en masa. Es por esta razón que se debería encontrar una manera de ahorrar costos en la construcción reemplazando el proceso de fundición por uno más sencillo y económico.

## **4.3 CONCLUSIONES**

El desarrollo del proyecto permitió el uso de todas las herramientas y métodos valiosos que se aprendieron durante toda la carrera, dejando excelentes resultados y lecciones aprendidas. En la medida que se construyó el prototipo se fueron cumpliendo los diferentes objetivos propuestos, con el fin de que estos en algún momento puedan llevar a la formulación de nuevas propuestas para acabar con la problemática del hurto de las tapas de pozos de inspección.

Con base en el estado del arte y la información recolectada, fue posible desarrollar un diseño adecuado que estuviera basado en cálculos y simulaciones (capítulo 3) con el fin de tener un respaldo adecuado. Además, con ayuda de la metodología implementada se realizaron rediseños que permitieron el ingreso de ideas nuevas para generar mejoras en el prototipo,

pasando así del diseño preliminar (que se encuentra en capítulo 3 numeral 3.4) a uno mucho más confiable, práctico y económico. Teniendo en cuenta lo anterior, es posible afirmar que el objetivo de diseño fue alcanzado satisfactoriamente, ya que este sistema cumple con el cometido de impedir ser robado, lo que permite afianzar las bases para alcanzar las demás metas propuestas al momento de iniciar este desarrollo tecnológico.

La construcción, a pesar de ser un gran desafío, fue posible gracias al buen diseño y el uso adecuado del tiempo, materiales y métodos implementados. En este proceso se generó conocimientos de metodologías, materiales y procesos; además, se entendieron de una manera más amplia todos los conceptos que implican la construcción de un prototipo, esto sin tener en cuenta que no fue imposible someterlo a pruebas reales. Sin embargo, y a pesar de lo anterior, el prototipo desarrollado cumplió con los requerimientos mínimos que se plantearon en un principio, teniendo en cuenta que su sistema convierte a la tapa en una que no puede ser hurtada, permite el paso del agua y está hecha con materiales muchos más económicos que los convencionales.

Las limitaciones del diseño (relacionadas en el capítulo 3, numeral 3.3.1, titulado “Factores delimitantes del diseño”) fueron superadas de manera progresiva con soluciones que evolucionaron a lo largo del trabajo. Un claro ejemplo de esto fue el sistema de placas por contacto electromagnético que fue explicado en el capítulo de diseño y construcción, en el que se resolvió el inconveniente de tener puertos a la intemperie que se pudieran deteriorar; además, se generó un sistema para proteger la tapa en caso de que esta fuera alimentada con energía o polaridad inadecuada por individuos que la deseen robar.

Por otro lado, el costo de fabricación del prototipo parece elevado si se comparara con el de una tapa convencional, la cual cuesta alrededor de 350.000 pesos colombianos. Sin embargo, con base en el análisis de costos que se encuentran en este capítulo (numeral 4.1., titulado “Análisis de costos”), es posible concluir que el hecho de que la tapa no pueda ser robada es determinante para afirmar que la desarrollada es más rentable y generará ahorro en un mediano y largo plazo. Por lo tanto, el reto asumido de generar un prototipo económico fue superado de una manera positiva, lo cual es un valor agregado imperativo si se desea constituir un negocio.

Como síntesis de las conclusiones se puede afirmar que el prototipo desarrollado cumplió con los objetivos propuestos, teniendo en cuenta que se diseñó y construyó un prototipo electromecánico que es capaz de soportar las fuerzas a las que se le somete cuando este intenta ser robado; además, las conexiones para la alimentación son ideales para la intemperie, permite el paso del agua, su construcción es relativamente sencilla y los costos son bajos en comparación con las tapas convencionales. Sin embargo, es evidente que el prototipo aún necesita ser sometido a pruebas para encontrar posibles fallos que permitan mejoras para que en el futuro estas tapas puedan ser instaladas en las calles con éxito.

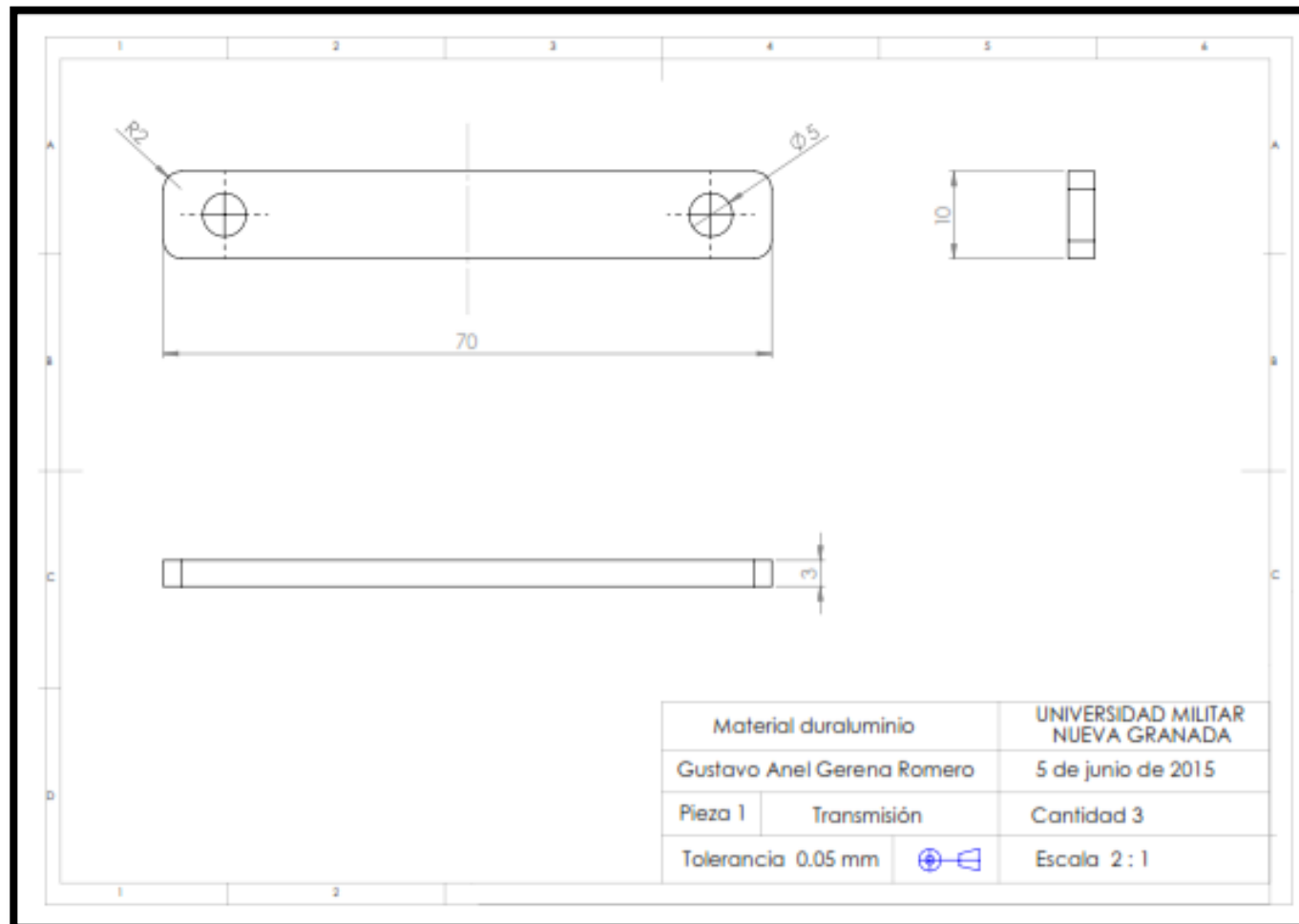
## BIBLIOGRAFÍA

- Brindis, E. A. (2002). *Propiedades básicas de los polímeros*. Obtenido de [http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/libros/import/Polimeros\\_Propiedades\\_Basicas.pdf](http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/libros/import/Polimeros_Propiedades_Basicas.pdf)
- Buudynas, R., & Neisbelt, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Novena ed.). Bogotá, D.C.: McGraw Hill Interamericana.
- Cerrajeroya.com. (2015). *Venta de electroimanes*. Obtenido de <http://www.cerrajeroya.com/venta/electroimanes.html>
- Chappell, J. F. ( 9-14 Julio, 2006). *Imagen tomada de base de datos IEEE xplore Digital Library, "Urban Sensor Networking Using Thick Slots in Manhole Cover*. (Antenas y Propagación Sociedad Simposio International 2006, IEEE.)
- D'Agapeyeff, A. (1939). *Codes and Ciphers*. Oxford: Oxford UP.
- Desingnthinking.es. (2015). *Desingnthinking*. Obtenido de <http://www.designthinking.es/inicio/index.php>
- Durán, L. F. (24 de septiembre de 2014). *Robo masivo de tapas de alcantarilla*. (Elmundo.es) Obtenido de <http://www.elmundo.es/madrid/2014/09/22/541f420bca47411e538b4583.html>
- EFE. (14 de marzo de 2005). *Más de 240.000 tapas de alcantarilla robadas en Pekín*. (Más de 240.000 tapas de alcantarilla robadas en Pekín) Obtenido de <http://www.20minutos.es/noticia/10888/0/alcantarilla/pekin/robo/>
- Elespectador.com. (15 de enero de 2014). *Carcel para quienes compren tapas de alcantarilla robadas*. (Elespectador.com) Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/judicial/carcel-quienes-compren-tapas-de-alcantarilla-robadas-video-468765>
- Elnuevosiglo.co. (24 de agosto de 2014). *Imagen tomada de tecnotapa y etb instalan alcantarillas*. (Elnuevosiglo.co) Obtenido de <http://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/8-2014-etb-instala-tecnotapas-en-alcantarillas.html>
- Geekfactory.mx. (2015). *HC-06 Modulo Bluetooth Serial Esclavo*. Obtenido de <http://www.geekfactory.mx/tienda/radiofrecuencia/modulo-bluetooth-hc-06-esclavo/>
- Ingeerick.weebly.com. (10 de octubre de 2013). *Ingeniería en mantenimiento industrial*. Obtenido de <http://ingeerick.weebly.com/arduino/bluetooth-hc-06-configuracin-con-arduino>
- Jin, Y., Yin, X., & Xiao, L. (16-18 de septiembre de 2011). Application and research of high performance polymer concrete in covers. *International Conference on Electrical and Control Engineering*, 3369, 33-66.

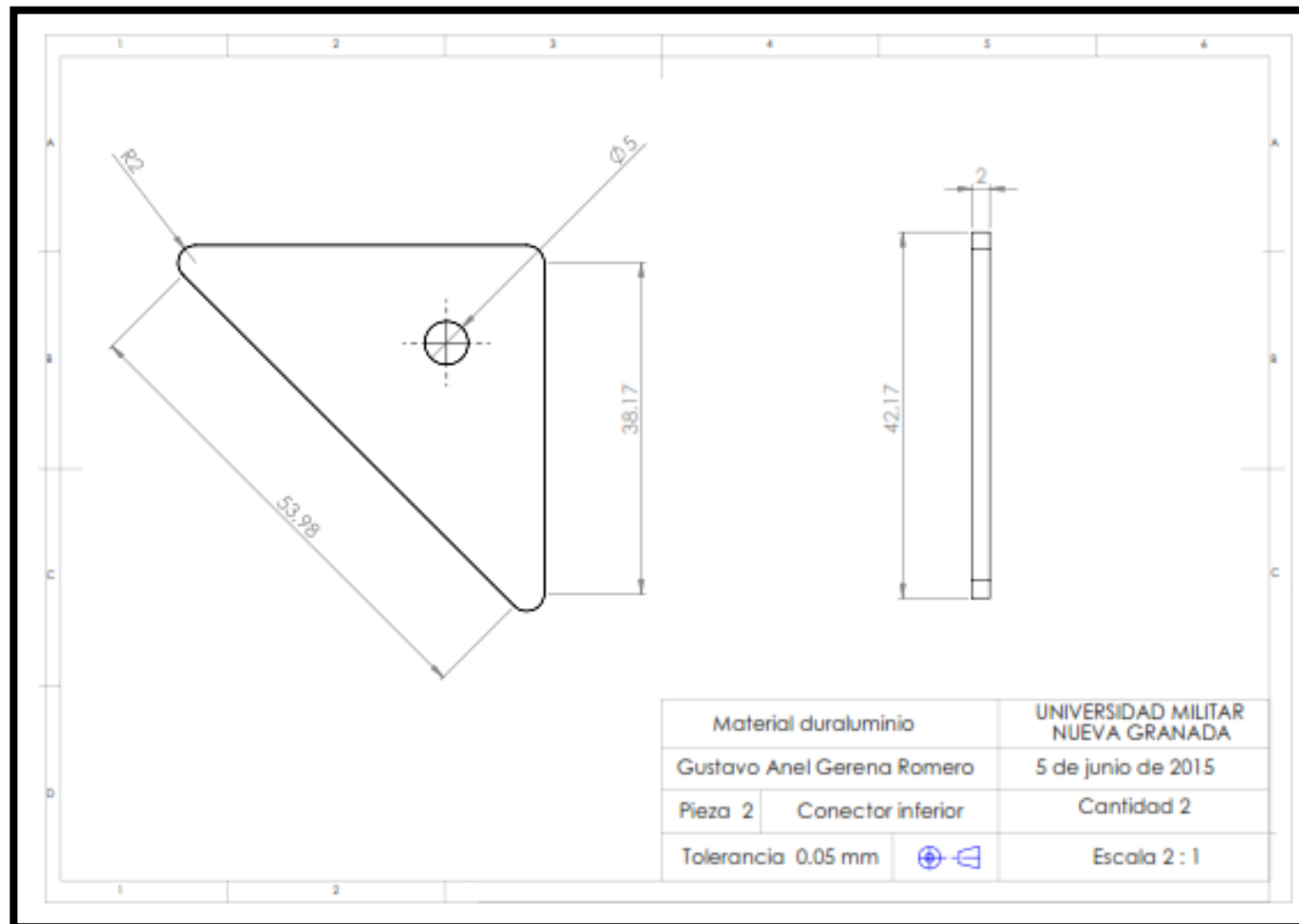
- Jin, Y., Yin, X., & Xiao, L. (16-18 de septiembre de 2011). Application and research of high performance polymer concrete in covers. *International Conference on Electrical and Control Engineering*, 3369, 3366.
- Linio.com.co. (2015). *Puente H L298 Driver L298 Motor Cd Para Arduino Microchip - Rojo*. Obtenido de <http://www.linio.com.co/Puente-H-L298-Driver-L298-Motor-Cd-Para-Arduino-Microchip---Rojo-1098583.html>
- Liu, Y., Du, M., Jing, C., & Bai, Y. (20-22 de junio de 2013). Desing of Supervision and Management System for Ownerless Manhole Covers Base con RFID. *21st International Conference on Geoinformatics*, 1-4.
- Londoño Palacio, O. L., Maldonado Granados, L. F., & Calderón Villafáñez, L. C. (2014). *Guía para constuir estados del arte*. Bogotá, D.C.: Iconk, International Corporation of Networks of Knowledge.
- Madero, G. (2015). *Puente H L298 Driver L298 Motor Arduino, Pic Etc.* (Mercadolibre.com) Obtenido de [http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-493264608-puente-h-l298-driver-l298-motor-arduino-pic-etc-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-493264608-puente-h-l298-driver-l298-motor-arduino-pic-etc-_JM)
- Mastarone, J. F., & Chappell, W. J. (4-9 de julio de 2006). Urban sensor networking using thick slots in manhole covers. *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 779-782. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1710643&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F11208%2F36089%2F01710643>
- Matweb.com. (2015). *Matweb, Your source for materials information*. Obtenido de <http://www.matweb.com/>
- Nación. (19 de agosto de 2014). *Se reduce el robo de tapas de alcantarillas*. (Semana.com) Obtenido de <http://www.semana.com/nacion/articulo/se-reduce-el-robo-de-tapas-de-alcantarillas-en-bogota/399720-3>
- NoticiasRCN.com. (14 de diciembre de 2013). *El mercado negro de las tapas de alcantarillas en Bogotá*. (Noticiasrcn.com) Obtenido de <http://www.noticiasrcn.com/nacional-bogota/el-mercado-negro-las-tapas-alcantarillas-bogota>
- Portaleso.com. (2015). *Tornillo sin fin*. (Portaleso.com) Obtenido de [http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/mecanica/elementos\\_de\\_maquinas/sin%20fin.htm](http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/mecanica/elementos_de_maquinas/sin%20fin.htm)
- Pulzo.com. (31 de 12 de 2014). *Linea telefonica para denunciar robo de tapas de alcantarillas no funciona*. (Pulzo.com) Obtenido de <http://www.pulzo.com/bogota/linea-telefonica-para-denunciar-robo-de-tapas-de-alcantarillas-no-funciona-58226>
- Redacción Bogotá. (02 de enero de 2014). *EAB y el Distrito anuncian medidas para evitar nuevos accidentes por tapas robadas*. (Elespectador.com) Obtenido de <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/eab-y-el-distrito-anuncian-medidas-evitar-nuevos-accide-articulo-466723>

- Redacción Noctámbulo de Citytv y Eltiempo.com. (30 de diciembre de 2013). *Bomberos hallan sin vida a menor de 4 años que cayó en alcantarillado*. (Eltiempo.com) Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13326682>
- Reforplas.com. (2015). *Quienes Somos*. Obtenido de <http://www.reforplas.com/wordpress/quienes-somos/>
- Solarte, C. (2015). *Cómo hacer un análisis financiero*. Bogotá, D.C.
- Solokombis.com. (2015). *Cómo fabricar una alarma facil*. (Solokombis.com) Obtenido de [http://www.solokombis.com.ar/articulos tecnicos/Articulos\\_Tecnicos/Alarma/Alarma\\_Facil.htm](http://www.solokombis.com.ar/articulos tecnicos/Articulos_Tecnicos/Alarma/Alarma_Facil.htm)
- Steevens, H. M. (23 de octubre de 2013). *Aparece tapa de alcantarilla de Bogotá en Ibagué*. (Kienyke.com) Obtenido de <http://www.kienyke.com/noticias/aparece-tapa-de-alcantarilla-de-bogota-en-ibague/>
- Steren.com.mx. (2015). *Steren: Soluciones en electrónica*. Obtenido de <http://www.steren.com.mx/catalogo/category.asp?c=628>
- Store.ardunio.cc. (2015). *Store.ardunio.cc*. (Arduio UNO Rev3) Obtenido de <http://store.arduino.cc/product/A000066>
- Tecnocarreteras.es. (26 de Septiembre de 2013). *Usando fibra de vidrio para la fabricación de tapas de registro para calzadas*. (Tecnocarreteras.es) Obtenido de <https://www.tecnocarreteras.es/2013/09/26/usando-fibra-de-vidrio-para-la-fabricacion-de-tapas-de-registro-para-calzadas/>
- Tecnotapa.com. (2012). *Quienes Somos*. (Pagina oficial TECNOTAPA) Obtenido de <http://tecnotapa.com/web/quienes-somos/>
- Tecnotapa.com. (11 de noviembre de 2014). *Tecnotapa en Futurecom 2014*. (Tecnotapa.com) Obtenido de <http://tecnotapa.com/web/2014/11/11/tecnotapa-en-futurecom-2014/>
- Tecnotapa.com. (2015). *Sistema de alta seguridad que protege las cámaras subterráneas contra saqueo y terrorismo*. (Tecnotapa.com) Obtenido de <http://tecnotapa.com/web/tecnotapa/>
- Wikipedia. (2013). *Brainstorm*. (Wikipedia.org) Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Brainstorm\\_\(desambiguaci%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Brainstorm_(desambiguaci%C3%B3n))
- Zebraelectronica.com. (2012). *Protafolio Electroimanes*. (Zebra Electronica) Obtenido de <http://www.zebraelectronica.com/Electroimanes.html>

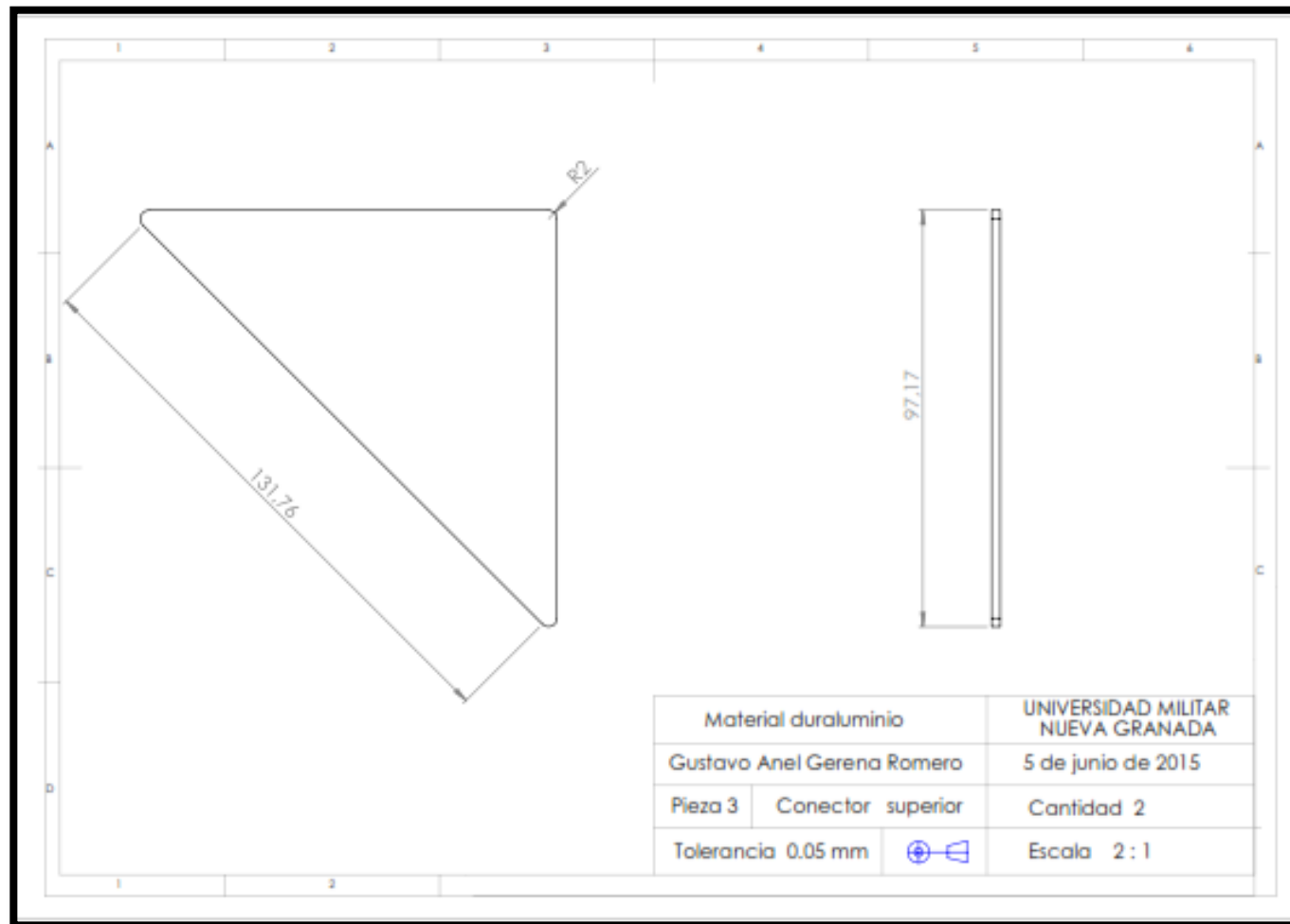
## ANEXO 1



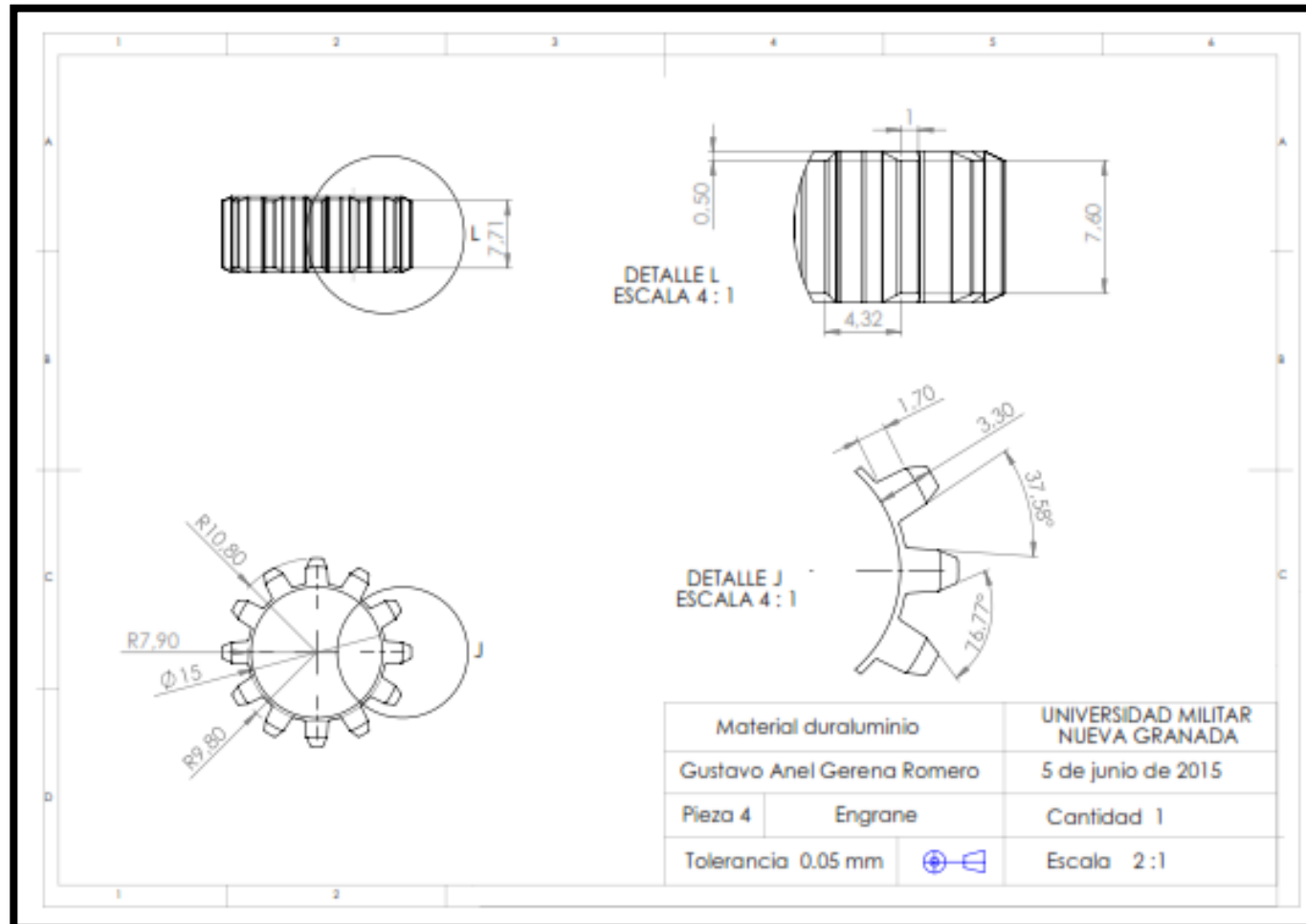
## ANEXO 2



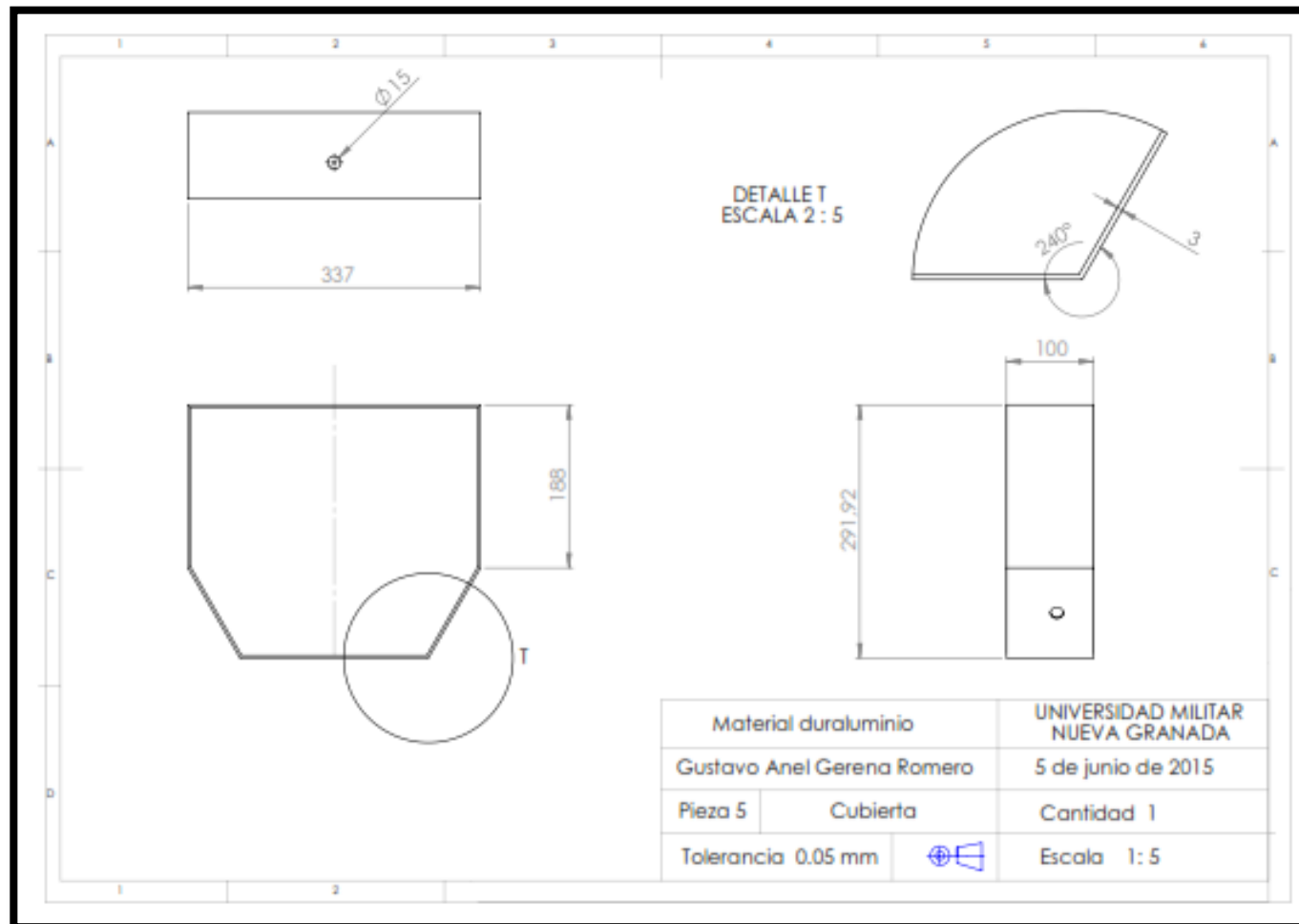
### ANEXO 3



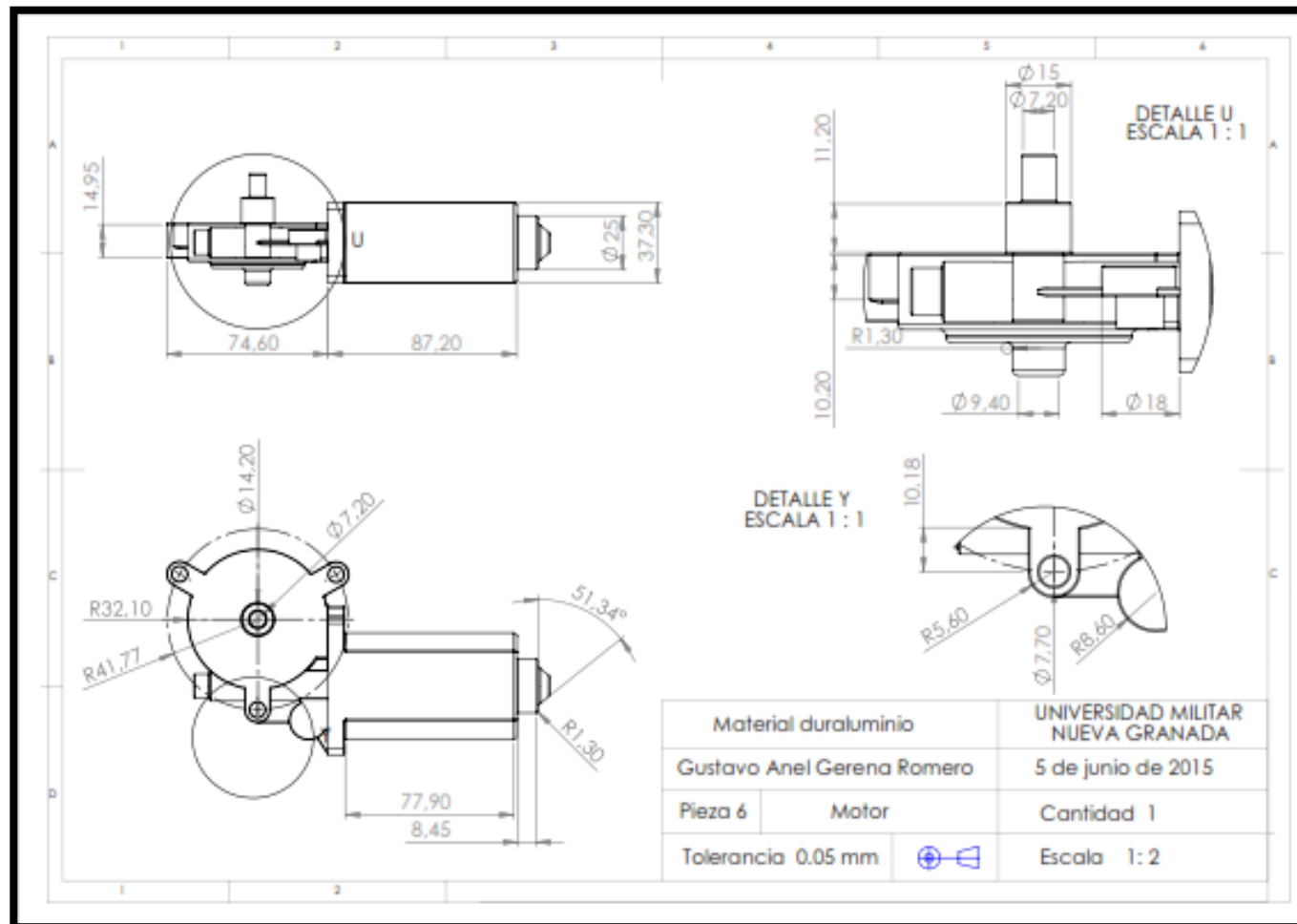
## ANEXO 4



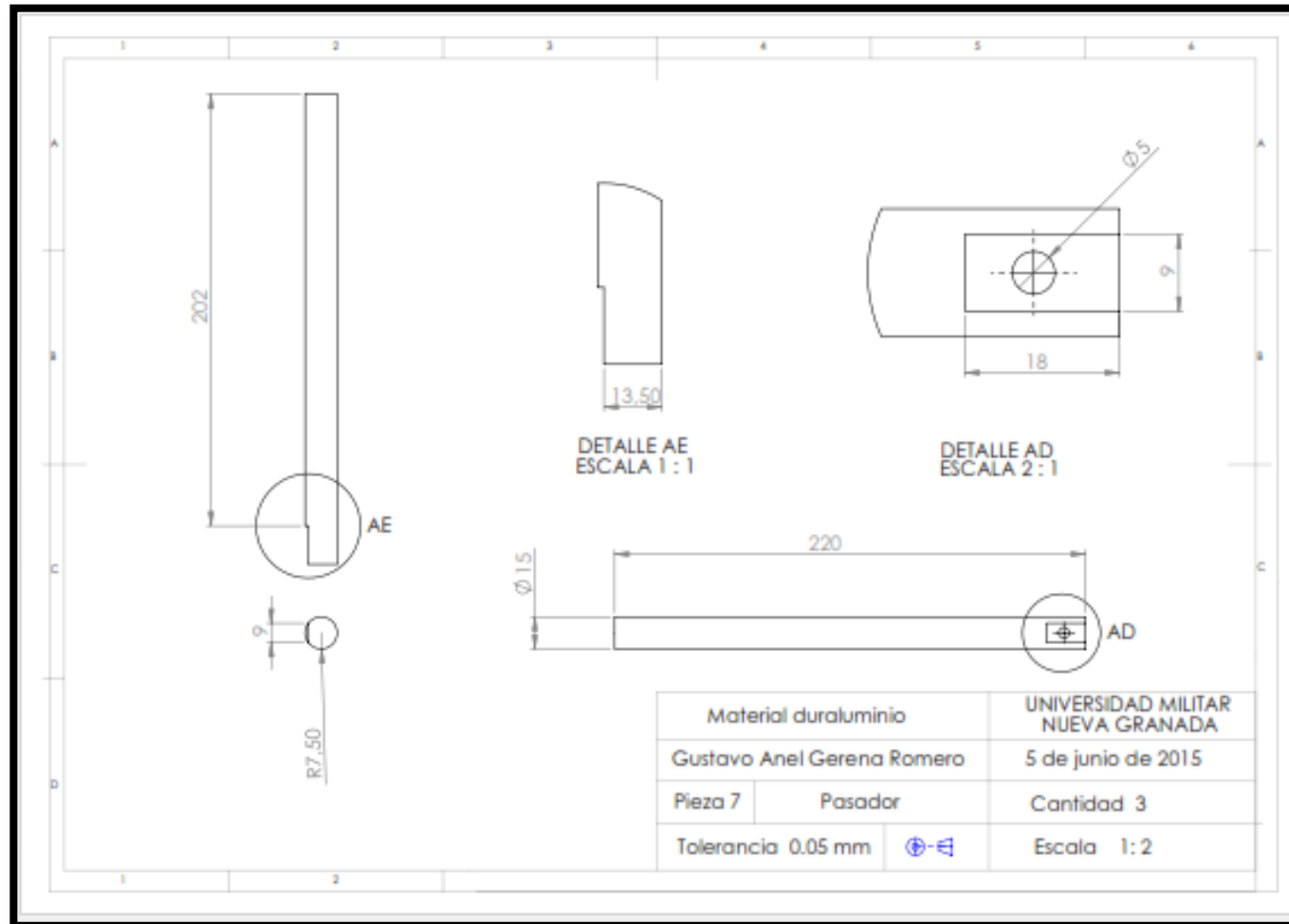
## ANEXO 5



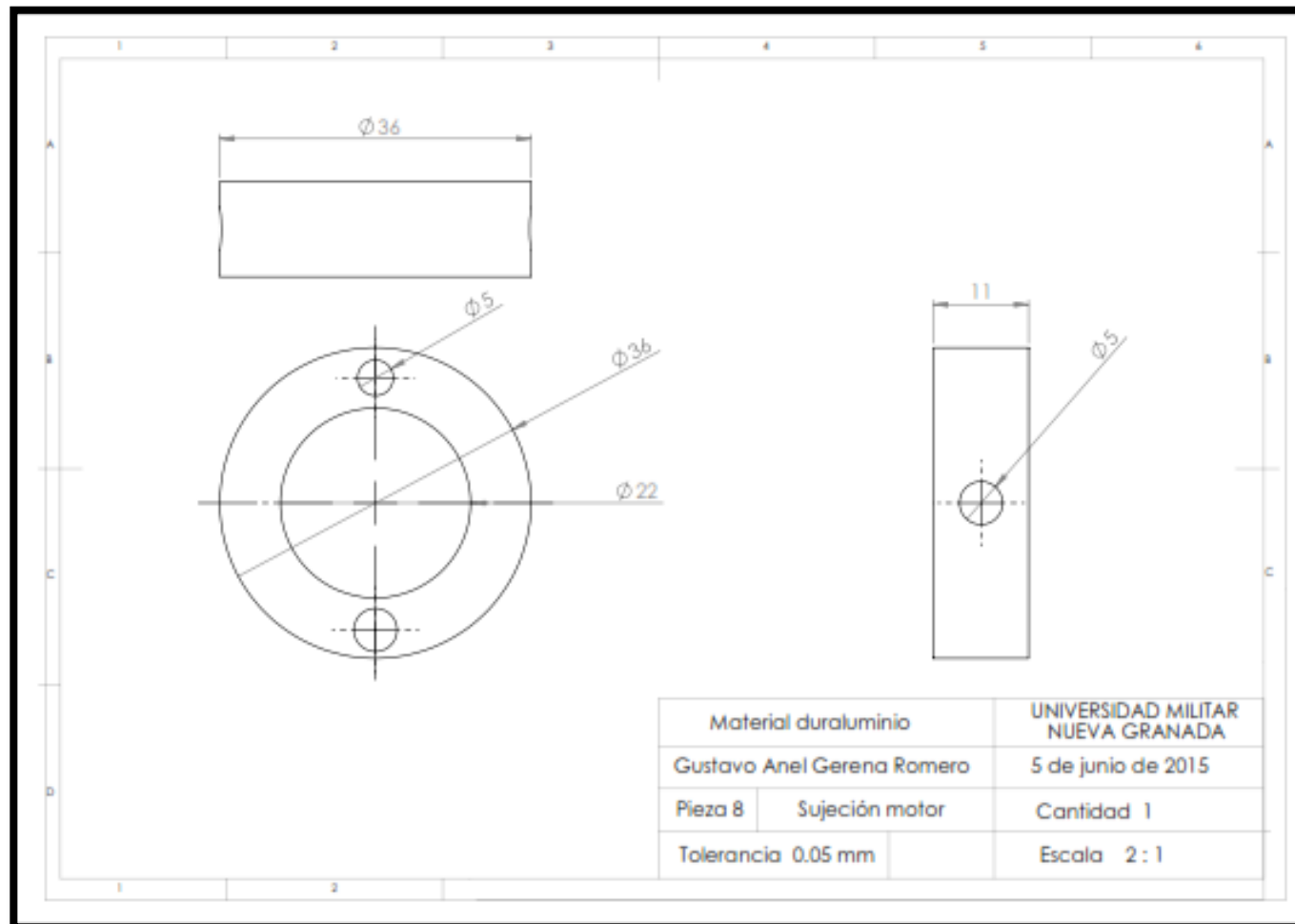
## ANEXO 6



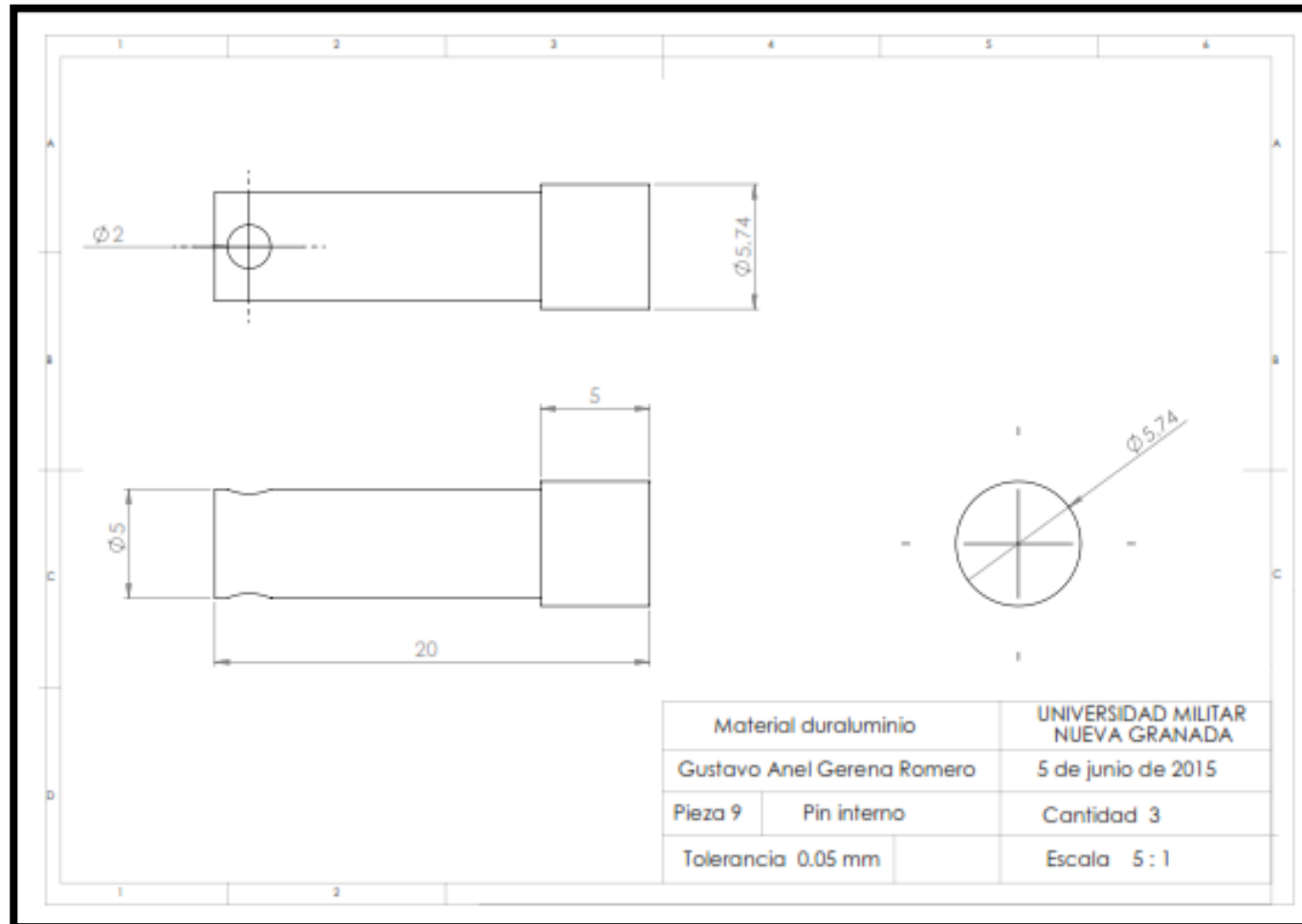
## ANEXO 7



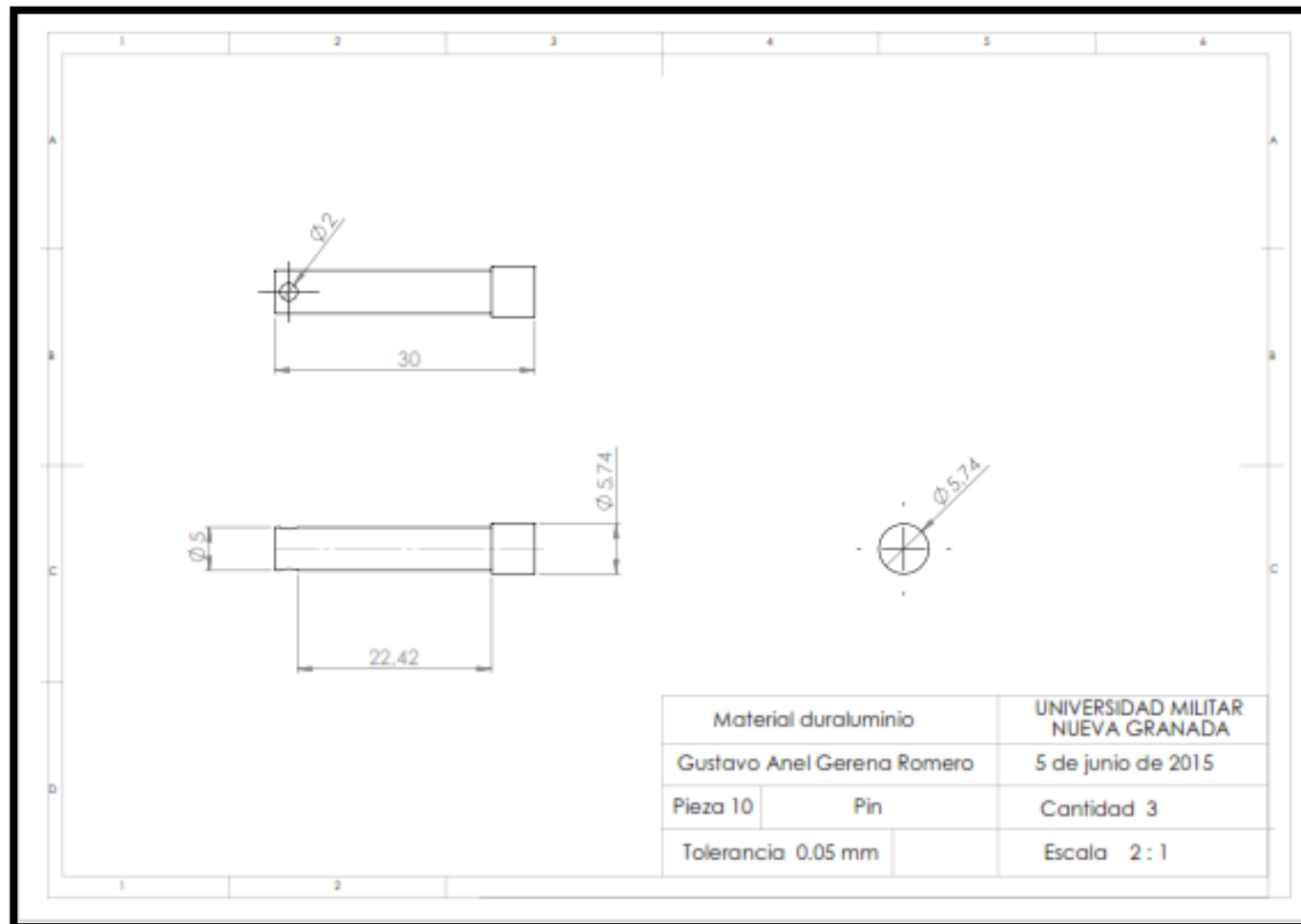
## ANEXO 8



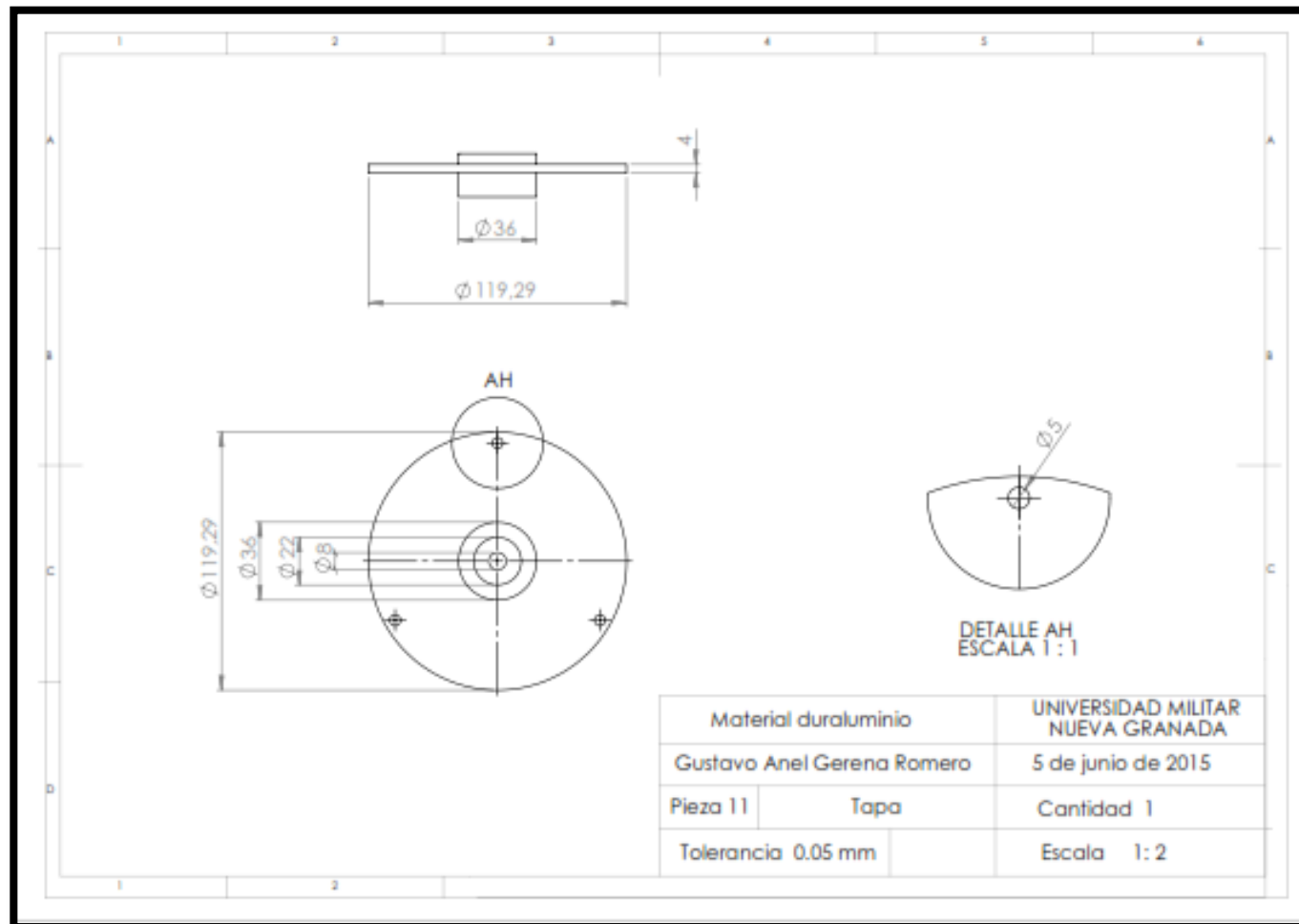
## ANEXO 9



## ANEXO 10



## ANEXO 11



## ANEXO 12

ESCLAVO

```
#include<SoftwareSerial.h>

// se define al Pin2 como RX, Pin3 como TX
SoftwareSerial mySerial(2,3);

void setup()
{
    //inicializa la comunicacion serial
    Serial.begin(9600);
    mySerial.begin(9600);

    //se configure los pines de entrada y salida
    pinMode(13,OUTPUT);

    // inicializa el estado de los LEDs
    digitalWrite(13,LOW);
}

void loop()
{
    mySerial.write('g');
    delay(1000);

    while (mySerial.available())
    {
        char c=mySerial.read();
        Serial.print(c);
        if(c=='1')
        {
            digitalWrite(13,HIGH);
        }
        else if(c=='2')
        {
            digitalWrite(13,LOW);
        }
    }
}
```

}

## ANEXO 13

### MAESTRO

```
/*
    Programa Modulo Bluetooth-HOST

El siguiente programa enviara informacion mediante el modulo
bluetooth.
Dado que el programa del modulo Bluetooth SLAVE
espera que se le envie '1', '2', '3', 'a', 'b', 'c'.
El programa enviara tales caracteres de forma que
se alterne el encendido y apagado de los LEDs

*/

#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(2,3); // RX,TX
char c;
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    mySerial.begin(9600);
}
void loop()
{
    mySerial.write('1');
    delay(2000);
    mySerial.write('a');
    delay(1000);
    mySerial.write('2');
    delay(2000);
    mySerial.write('b');
    delay(1000);
    mySerial.write('3');
    delay(2000);
    mySerial.write('c');
    delay(1000);
    if(mySerial.available())
    {
        c=mySerial.read();
        Serial.println(c);
    }
}
```

## ANEXO 14

```
teclado_y_lcd
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>

const byte ROWS = 4; //four rows
const byte COLS = 4; //four columns
//define the symbols on the buttons of the keypads
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'}
};
byte rowPins[ROWS] = {10, 13, A0, A1}; //connect to the row pinouts of the keypad
byte colPins[COLS] = {6, 7, 8, 9}; //connect to the column pinouts of the keypad
Keypad teclado = Keypad( makeKeymap(hexaKeys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);

//initialize an instance of class NewKeypad

char tecla;
int num, x=0;
int f=0;
int g=0;
int pass[3];
int tem;
int admin = 1235;

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
}
void loop()
{
  analogWrite(A0, 0);
  analogWrite(A1, 0);
  if(f==0)
  {
    lcd.setCursor(3, 0);
    lcd.print("Bienvenido");
    delay(3000);
    lcd.clear();
    f=1;
    lcd.print("1.Supervisor");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.println("2.Operario      ");
  }
  tecla= teclado.getKey();
  //lcd.println("esperando");
  if(tecla != NO_KEY)
  {
    Serial.print(tecla);
    tecla=tecla-48;
    //MENU SUPERVISOR -----
    if(tecla==1)
    {
```

```

lcd.clear();
lcd.print("INGRESE PASS:");
tecla=NO_KEY;
delay(1000);

for(x=0;x<4;x++)
{
    tecla= NO_KEY;
    while(tecla== NO_KEY)
    {
        tecla= teclado.getKey();
        tem=tecla;
    }
    tem=tem-48;
    pass[x]=tem;
    lcd.setCursor(x, 1);
    lcd.print("*");
}
tem=(pass[0]*1000)+(pass[1]*100)+(pass[2]*10)+(pass[3]);
if(tem==admin)
{
    lcd.clear();
    lcd.print("PASS CORRECTO!");
}
else
{
    lcd.clear();
    lcd.print("PASS INCORRECTO");
    delay(5000);
    lcd.clear();
    f=0;
}
}
// MENU OPERARIO-----
else if(tecla==2)
{
    lcd.clear();
    lcd.print("INGRESE PASS:");
    tecla=NO_KEY;
    delay(1000);

    for(x=0;x<4;x++)
    {
        tecla= NO_KEY;
        while(tecla== NO_KEY)
        {
            tecla= teclado.getKey();
            tem=tecla;
        }
        tem=tem-48;
        pass[x]=tem;
        lcd.setCursor(x, 1);
        lcd.print("*");
    }
    tem=(pass[0]*1000)+(pass[1]*100)+(pass[2]*10)+(pass[3]);
    if(tem==admin)

```

---

```

{
  lcd.clear();
  lcd.print("PASS CORRECTO!");
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.print("1. ABRIR TAPA");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println("2. CERRAR TAPA      ");

  tecla=NO_KEY;
  while(tecla == NO_KEY)
  {
    tecla= teclado.getKey();
    tem=tecla;

  }
  tem=tem-48;
  if(tem==1)
  {
    lcd.clear();
    lcd.print("ABRIENDO");
    analogWrite(A0,255);
    analogWrite(A1,0);
    delay(500);
  }
  else
  {
    lcd.clear();

    lcd.print("CERRANDO");
    analogWrite(A0,0);
    analogWrite(A1,255);
    delay(500);
  }

  }
  else
  {
    {
      lcd.clear();
      lcd.print("PASS INCORRECTO");
      delay(5000);
      lcd.clear();
      f=0;
    }
  }

  }
}

```