

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

SISTEMA DE SEGURIDAD PARA TAPAS DE CÁMARA DE INSPECCIÓN.

JHONATAN STEVEN BENITEZ RAMIREZ

Programa Académico

Ingeniería Electromecánica

Jorge Andrés Sierra

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Marzo del 2017

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

El hurto de tapas de alcantarillado ha afectado fuertemente las empresas de servicios públicos en Colombia, principalmente a empresas de telecomunicaciones y electrificadoras. En Colombia se han reportado anualmente pérdidas millonarias por esta problemática, ya que luego de ser hurtadas se venden a mayoristas de otras ciudades, para reciclaje del cobre y sobre todo del hierro, pues este es un metal que permite ser reutilizado sin perder su alta calidad, ni sus propiedades. A partir de esta problemática, se han implementado diferentes soluciones tecnológicas y métodos antirrobo para disminuir el hurto, entre ellas se encuentran las tapas con sistemas de cierre hidráulico, cierre por tornillos o abatibles al marco, pero ninguna ha sido exitosa.

Este proyecto busca generar soluciones a esta problemática, diseñando y modelando un sistema de seguridad antirrobo. El sistema constará de una llave de seguridad tipo tubular como sistema de activación, un sistema mecánico integrado para el bloqueo y anclaje interno entre la tapa y la cámara de inspección. El sistema mecánico se basará en la teoría de mecanismos y transmisión de movimiento, que por medio de 2 pines de sincronización permitirán el cierre y apertura de 3 pernos con el fin de evitar movimientos verticales de la tapa. Se analizará si el sistema mecánico se puede diseñar con materiales diferentes al acero inoxidable 304 establecido por la empresa de servicios públicos; se utilizará un material termoplástico llamado Polipropileno (PP) de alto impacto para el diseño de la tapa de alcantarillado, siendo este un polímero de adición muy ligero, el cual no es comercial en el mercado negro, lo cual disminuye su potencial de robo.

Al final se diseñarán modelos en 3D y serán estudiados mediante técnicas de análisis de elementos finitos utilizando el software comercial Autodesk Inventor 2016, el cual es un programa para el diseño e ingeniería asistida por computador, obteniendo documentación robusta que ayude a comprobar la funcionalidad del sistema y las propiedades del material, esfuerzos últimos, deformaciones, puntos críticos, Etc.

Palabras clave: Tapa de polipropileno; Alcantarillado; Inventor; Elementos finitos; Cámaras de inspección; Innovación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

El desarrollo de este proyecto ha sido logrado satisfactoriamente, primero que todo agradecerle a Dios quien me ha obsequiado la sabiduría suficiente para llevar mi vida por un camino de éxito. De igual manera a mi padres quienes con su humildad y su amor me enseñaron que el estudio es el mejor regalo.

Agradezco al asesor de la tesis, el profesor Jorge Andrés Sierra, quien con su gran apoyo, acompañamiento, dirección y su compromiso fue mi guía en este arduo proceso.

Finalmente doy gracias a la empresa Kinnesis Solution quienes apoyaron y creyeron es esta gran labor; sin excluir y con gran cariño agradezco a mis dos grandes compañeros en toda mi carrera universitaria, Jose Cardona y Oscar Montoya quienes estuvieron presentes en todo momento.

Espero que el éxito de este proyecto no solo sea una meta personal sino para todos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

MFI: Es la cantidad de material extruido a través de un capilar bajo ciertas condiciones de peso y temperatura en un periodo de 10 minutos.

FEM: Métodos de Elementos Finitos “Finite Element Methods”, se representa al método numérico para resolver problemas mediante ecuaciones diferenciales.

NTC: Norma Técnica colombiana, es la norma técnica colombiana creada por la ICONTEC “Instituto Colombiano de Normas Técnicas “ y establece los requerimientos mínimos de calidad para empresas y actividades profesionales.

CAD: Diseño asistido por computador “Computer Aided Desing”

CAM: Manufactura asistida por computador “Computer Aided Manufacturer”.

DCL: Diagrama de Cuerpo Libre, es una representación gráfica para el análisis de fuerzas sobre un cuerpo libre.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1	GENERALIDADES	7
1.2	OBJETIVOS.....	8
1.2.1	OBJETIVO GENERAL	8
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
1.3	ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	9
2.	MARCO TEÓRICO.....	9
2.1	REUNIÓN EPM AREA RED SUBTERRANEA.	9
2.2	PROBLEMÁTICA Y SOLUCIONES ACTUALES.....	10
2.2.1	CAMARAS DE INSPECCIÓN	13
2.2.2	TAPA DE POLIPROPILENO PARA CAMARA DE INSPECCIÓN.....	14
2.3	NORMATIVIDADES PARA TAPAS DE POLIPROPILENO Y CAMARA DE INSPECCIÓN	16
3.	METODOLOGÍA.....	18
3.1	PROPIEDADES FISICAS DEL SISTEMA.	19
3.2	ELEMENTOS DEL SISTEMA Y LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES.....	21
3.3	CONFIGURACIÓN DE VISTA DE MALLA Y CONVERGENCIA	22
3.4	PROPIEDADES FISICAS DE SISTEMA MECÁNICO INTEGRADO DE ACTIVACIÓN	23
3.5	SIMULACIÓN PARA ANALISIS DE COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA MECÁNICO DE ACTIVACIÓN FRENTE A SITUACIONES DE HURTO Y POSIBLE DEFORMACIÓN DE LA TAPA.....	25
3.5.1	SIMULACIÓN 1. RESISTENCIA A FLEXIÓN EN LA TAPA DE POLIPROPILENO.....	25
3.5.2	SIMULACIÓN INTENTO DE FRAUDE CON VARILLA DE ACERO AISI 4130. 28	
3.5.3	SIMULACIÓN INTENTO DE APERTURA INTERNA Y CONCENTRACIÓN DE TENSION EN SISTEMA DE AGARRE.....	30
3.5.4	SIMULACIÓN INTENTO DE DAÑO AL SISTEMA POR CARGA EN ZONA DE PINES DE SINRONIZACIÓN.....	34
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1	LLAVE DE SEGURIDAD TIPO TUBULAR	36
4.1.1	MODELADO DE PESTAÑAS DE SINCRONIZACIÓN.	38
4.1.2	SISTEMA DE ENCAJE POR PALANCA DE LEVA.....	41
4.1.3	METODO DE ACOPLAMIENTO Y POSICIONAMIENTO.	42
4.1.4	MODELO FINAL DE LLAVE DE SEGURIDAD TIPO TUBULAR.....	43
4.2	SISTEMA MECÁNICO INTEGRADO DE ACTIVACIÓN Y ANCLAJE.....	44
4.2.1	PROTOTIPO 1, SISTEMA DE ACTIVACIÓN Y ANCLAJE POR MEDIO DE TORNILLO SIN FIN.	45
4.2.2	SISTEMA DE ACTIVACIÓN	47
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	50
5.1	CONCLUSIONES.....	50
5.1.1	CONCLUSION GENERAL	50
5.1.2	CONCLUSIONES COMPLEMENTARIAS.	51
5.2	RECOMENDACIONES.	51
5.3	TRABAJO FUTURO	51
	REFERENCIAS	53
	APÉNDICE.....	54
	APÉNDICE A.....	54

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La Asociación Nacional de Servicios Públicos y Comunicaciones (ANDESCO) ha reportado pérdidas millonarias derivadas del hurto aproximado de 2.000 tapas de alcantarillado anuales, golpeando fuertemente a todas las empresas de telecomunicaciones, electrificadoras y empresas de servicios públicos; de las empresas más afectadas se encuentra la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAAB); de igual manera se ven afectadas las empresas de otras ciudades como las Empresas Públicas de Medellín (EPM); Empresas Municipales de Cali (EMCALI); Empresas Públicas Alcantarillado de Santander (EMPAS); entre otras. Esta problemática no solo significa un déficit económico, sino también, representan un riesgo para la vida y la seguridad de las personas, convirtiéndose para ellas en trampas mortales.

En esta problemática están vinculadas las personas en condición de calle, quienes son contratadas para hurtar las tapas de alcantarillado a cambio de dinero o drogas; se estima que el precio de costo de 1 tapa para una empresa de servicios públicos oscila en valores cercanos a los \$250.000 pesos, mientras que la persona quien la hurta las vende al mercado negro o chatarrerías, aproximadamente a un valor de \$5.000 a \$50.000 pesos. Otras cantidades más pequeñas se usan para ser revendidas a otras ciudades, pues las tapas hurtadas son vendidas a contratistas, quienes se encargan de enviarlas y revenderlas a las empresas públicas de otras ciudades del país, para luego ser nuevamente utilizadas (Serrano Guzmán, 2014).

Para el estado es necesario buscar una solución, al punto que, desde el 14 de enero del 2014 se han tomado medidas drásticas para quien hurte estas propiedades públicas, tanto para las personas quien las hurte como a las empresas de servicio que las compren; podrían ser judicializados hasta con 7 años de cárcel (El Tiempo, 2014).

Muchos países y empresas han encontrado soluciones a este problema, existen varios sistemas de seguridad pero hasta el momento no han sido 100% exitosas, ya que el sistema de bloqueo depende de un dispositivo de activación, el cual no es muy difícil vulnerar, pues se encuentra expuesto y visible a los peatones. El mayor reto, recae en un sistema de activación, el cual sea casi imposible de copiar, vulnerar y modificar luego de ser instaladas en las cámaras de inspección.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Modelar un sistema de seguridad para tapas de polipropileno de cámaras de inspección.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar una llave de diseño tubular como mecanismo de activación para el sistema mecánico.
- Implementar un sistema mecánico de bloqueo integrado a la tapa de alcantarillado, donde solo se permita ser activada con su respectiva llave de seguridad.
- Realizar un análisis sobre el comportamiento del sistema de seguridad cuándo está sometida a situaciones de hurto, a partir del uso de herramientas de software de diseño, manufactura e ingeniería asistida por computador (CAD y CAE)
- Analizar a futuro la aplicabilidad desarrollada de la llave tubular a otros sistemas de seguridad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.3 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Este proyecto se encuentra estructurado por capítulos, cada uno de ellos despliega el proceso utilizado para la el cumplimiento de los objetivos específicos.

Inicialmente se encuentra información importante, el cual ayudara a conocer las problemáticas vividas por las empresas de servicios públicos. En esta búsqueda de información se presentan las soluciones que más se utilizan para contrarrestar esta problemática. Cada uno de estos sistemas tiene unas debilidades y la mayoría de las soluciones no van más allá de simples sistemas de activación o costos sistemas que requieren mantenimiento periódico.

Se presenta también el desarrollo y el proceso de modelado para el sistema mecánico de activación y la llave de seguridad tipo tubular, identificando los inconvenientes presentados y las soluciones utilizadas para la solución del modelado. Las pautas que se siguieron para la implementación de los materiales y el funcionamiento fueron asentadas por las normas de construcción de EPM para las tapas de alcantarillado, quienes están basadas en las normas técnicas colombianas “NTC”. También se presenta experiencia adquirida luego de una reunión que se realizó con los ingenieros de la red subterránea de EPM, quienes aceptaron asistir al planteamiento de nuestra solución, ayudando a aterrizar los conceptos y cada una de las debilidades que han sufrido en su intento de contrarrestar esta problemática que sobrellevan todas las empresas de servicios públicos.

Este desarrollo debe ser lo más seguro posible, por esto, se realizan simulaciones avanzadas donde se analicen varios escenarios, como por ejemplo, la exposición de la tapa de polipropileno a grandes cargas o en un escenario donde se intente la apertura o violación del sistema, esto con el objetivo de conocer el comportamiento del sistema demostrar lo estable que podrá ser nuestra solución; gracias a estas simulaciones podemos asegurar que al ser instaladas en campo cumplirán con los requerimientos que se piden por parte de EPM. Las simulaciones fueron configuradas para generar los resultados más confiables y precisos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 REUNIÓN EPM AREA RED SUBTERRANEA.

El día miércoles 18 de Enero de 2017, se realizó una reunión con los ingenieros Ramón Sanchez y Carlos Alejandro, quienes pertenecen al área de parrilla y red subterránea de EPM. Como encargados de la red, Empresas Públicas de Medellín manifiesta que está interesado todas las posibles soluciones frente a esta problemática que abarca el hurto de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

las tapas de cámaras de inspección. Se realizó la presentación de esta solución de seguridad, se detectaron las zonas más críticas de la ciudad de Medellín, una de las más importantes es la plaza minorista, ubicada en la comuna 10, centro de Medellín; en estas zonas se han utilizados todos las diferentes soluciones de seguridad (*Ver Figura 2*), EPM detalla que ninguna de estas soluciones ha tenido éxito, pues algunas son muy vulnerables, ya que las soluciones que implementan tecnologías magnéticas necesitan de una gestión que abarca altos costos, estas soluciones se explicarán en el siguiente numeral. Se identifican los puntos a favor que tiene nuestra solución como por ejemplo la no implementación de un sistema de mantenimiento, ya que es un sistema totalmente mecánico y fabricado en acero inoxidable, evitando futuras oxidaciones.

2.2 PROBLEMÁTICA Y SOLUCIONES ACTUALES

La problemática del hurto de las tapas de alcantarillado surge principalmente por la utilización del acero galvanizado que se extrae de la base de refuerzo que contienen las tapas de polipropileno. El hierro (Fe) es el cuarto metal más abundante del planeta, con excelentes propiedades mecánicas y físicas, estas propiedades pueden cambiar si se combinan con otros elementos químicos como el carbono, fósforo, silicio, entre otros; mejorando la conducción eléctrica y de calor, la maleabilidad y ductilidad, la resistencia, la deformación, la dureza y también la absorción de la energía, entre otras características fundamentales que se provee gracias a la fundición del hierro.



Figura 1 Hierro en cámaras de inspección y tapas de alcantarillado.

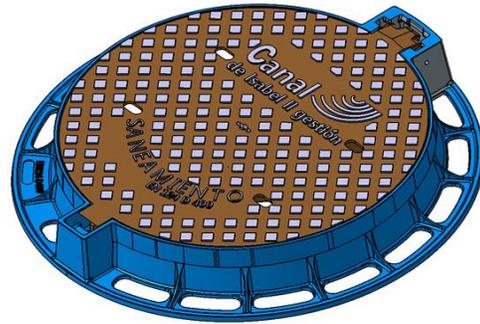
Existen varios sistemas de seguridad antirrobo diseñados para las tapas de alcantarillado, la mayoría de ellos dependen de sistemas de tornillos de acero inoxidable con cabeza no convencional (hexagonal, Tipo Y, Tri-Wing, Six-Lobe, Etc.), tapas abatibles, tornillo pasante

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

en bisagra o de dispositivos por cierre hidráulicos; también otros tipos de sistemas de activación, como imanes integrados o el uso de dispositivos magnéticos, también llamados elevadores magnéticos (usados para tapas metálicas).



a). FABREGAS. Tapa con sistema de cierre por tornillos. Recuperado de Fundación dúctil catálogo general 2012/13.



b). FUDOPSA. Tapa con sistema de cierre abatible Recuperado de <http://www.sifsa-fudopsa.com/dispositivos-cubrimiento-y-cierre-vias-urbanas.html>



c). Lurdy, M. Tapa tipo ETB con sistema de cierre por pernos. Recuperado de <http://ojaradio.com.co/?p=3714>. (2016).



d). TECNOTAPA. Tapa con sistema de cierre magnético. Recuperado de <http://tecnotapa.com/web/tecnotapa/>

Figura 2 Tipos de sistemas de seguridad para tapas de alcantarillado.

En la implementación de estos sistemas de seguridad se han evidenciado ventajas y desventajas que se expondrán a continuación.

- Sistema de cierre por tornillos, Figura 2, opción a): Tiene como ventaja una fácil instalación, pues consta de 3 tornillos que la aseguran al anillo externo; pero este sistema tiene un nivel de seguridad demasiado bajo, pues permite con facilidad la creación de una llave con la misma geometría de la cabeza de los tornillos y así la posibilidad de retirarlos de la tapa, generando sin ninguna complicación la posibilidad de retirarla.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Sistema de cierre abatible, Figura 2, opción b): Su mayor ventaja se relación con la facilidad de instalación, pues se encuentra anclada al anillo externo, evitando que esta se retire completamente. Su seguridad es muy bajo, pues tiene como desventaja la posibilidad de crear una llave con la cual permite retirar el tornillo de seguridad que permite el cierre y apertura de la tapa, luego proceden con la ruptura del eje de seguridad que lo asegura con el anillo externo y así la extraen completamente.
- Sistema de cierre con pernos, Figura 2, opción c): Este sistema tiene un nivel de seguridad medio, pues funciona a partir de la activación de 3 pernos por medio de una llave de seguridad, esta llave no tiene una figura geométrica visible, esto genera que una persona sin conocimientos básicos de manufactura pueda copiar la llave fácilmente.
- Sistema de cierre magnético, Figura 2, opción d): Este sistema tiene un nivel de seguridad muy alto, pues solo podrá ser activada por medio de un electroimán llamado “Grúa”, es configurable según las necesidades del cliente, tiene la posibilidad de ser activada en tiempo real desde software de gestión por medio de GSM/GPRS y también conserva un registro de todas las actividades. El sistema incorporado a la llave, no requiere de baterías ni fuentes de alimentación. La desventaja de esta solución no está relacionado con el nivel de seguridad, ya que se convierte en un tema de costos adicionales muy altos para las empresas de servicios públicos (Tecnotapa, 2012).

Se realizó un contacto con el ingeniero mecánico Eduardo Arjona de la empresa Grandes Negocios Arjona LTDA de Bogotá, quien muy amablemente compartió sus conocimientos y su experiencia en el proyecto de *“Tapa aro para alcantarilla con abertura de caída 99% seguras y anti robo del mundo”*, el cual lo presento a las Empresas de Acueducto de Bogotá. El ingeniero Arjona comento con detalle la historia y la problemática que se vive diariamente con el hurto de las tapas de alcantarillado. Este sistema de tapa con abertura de caída no tuvo ninguna problemática en su instalación, ni tampoco un fracaso en su diseño de ingeniería, pero la no implementación de esta solución se debió a una problemática más de tema político.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

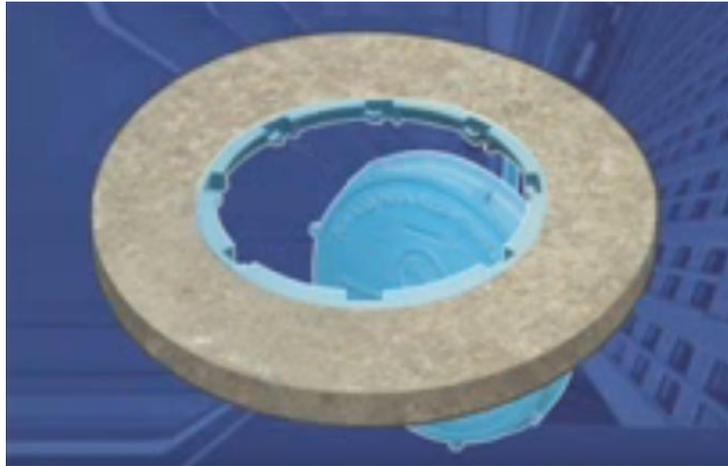


Figura 3 Tapa aro para alcantarilla con abertura de caída 99% seguras y antirrobo del mundo. Fuente Eduardo Arjona, Ingeniero Mecánico.

2.2.1 CAMARAS DE INSPECCIÓN

Se debe tener en cuenta que la cámara visualizada en la *(Figura 4. EPM Normas y especificaciones generales de construcción. Cámaras de inspección vaciadas en sitio..)*, representa el diseño de la cámara de inspección de cono concéntrica optado por EPM. Este tipo de diseño no permite adaptar cualquier tipo de sistema de seguridad, la razón es la altura inicial de la cámara, que con el paso de los años aumenta su altura por la reconstrucción o el mejoramiento de la vía, carretera o andén *(Figura 5. Cambio de altura inicial de cámara de inspección. Fuente propia)*; además EPM especifica que no se puede afectar o modificar la estructura de la cámara de inspección al instalar algún tipo de sistema de seguridad, pero deberá ser diseñada tal que, al retirar la tapa de la cámara de inspección no cause problemas al instalador, ni se vea afectado la integridad del mecanismo.

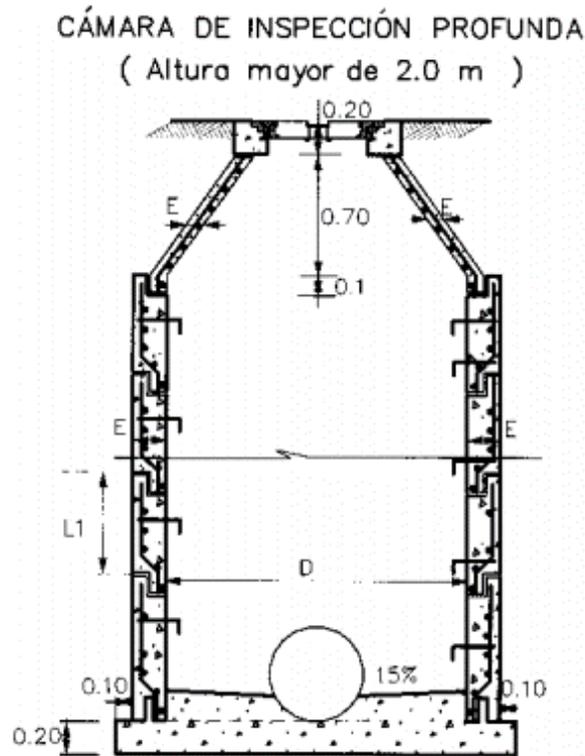


Figura 4. EPM Normas y especificaciones generales de construcción. Cámaras de inspección vaciadas en sitio.
Recuperado de <https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/proveedores/cap8.pdf>

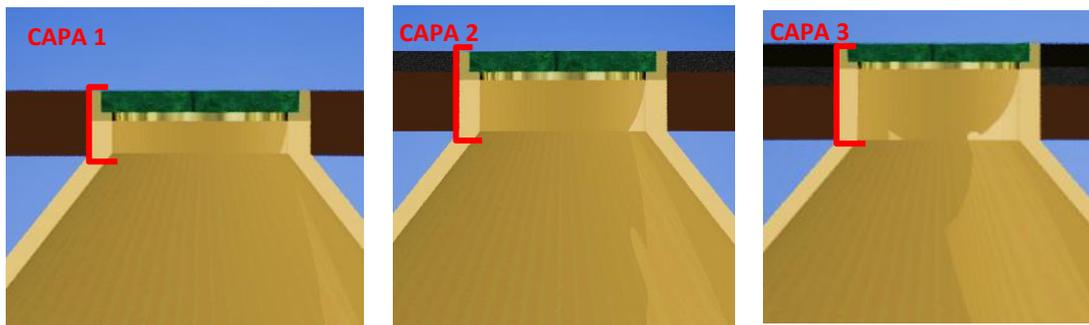


Figura 5. Cambio de altura inicial de cámara de inspección. Fuente propia

2.2.2 TAPA DE POLIPROPILENO PARA CAMARA DE INSPECCIÓN

Estas tapas de polipropileno con el tiempo presentan un desgaste por el alto flujo vehicular que transita en ella y también una cristalización por estar expuesta a la luz solar. Muchas de las tapas de polipropileno utilizan gravados para que al llover mantenga la fricción y no se conviertan en un peligro para los vehículos y los transeúntes, aquí en la Figura 6, se logran

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

evidenciar los gravado en zigzag para esta tapa ya se ha desgastado hasta al punto de que en algunas zonas no se logra percibir.



Figura 6. Desgaste y cristalización tapa polipropileno. Fuente propia.

Además si se observa el perímetro de la tapa, se nota desgaste, quiebres, irregularidades y deformaciones; esto se presenta como un proyecto a futuro y gracias al sistema de seguridad diseñado en este proyecto se puedan utilizar diferentes materiales y/o diseños de las tapas, el cual no se conviertan en un peligro y tenga una vida útil mucho más extensa.

Para el modelamiento de la tapa se utilizaran las especificaciones generales de construcción de EPM, que están basados en la norma NTC 1393, por lo tanto la tapa para cámara de inspección será diseñada 100% de polipropileno de grado genérico reciclado, este material es un polímero de alta resistencia a la compresión y a la flexión. Además, estará reforzado con una malla de acero galvanizado y deberá soportar una carga igual o mayor a 6000 Kg sin sobrepasar su límite elástico (EPM, 2012). Requisitos:

Peso masa	21 kg hasta 25 Kg
Resistencia mínima a la compresión	28 Mpa (280 kg/cm ²)
Resistencia mínima a la Flexión	3 Mpa (31 Kg/cm ²)
Densidad de materia prima	0.8 gr/cm ³ hasta 1.1 gr/cm ³
Índice de fluidez (MFI)	≤ 8 gr/cm ³
Esfuerzos últimos	10 Mpa

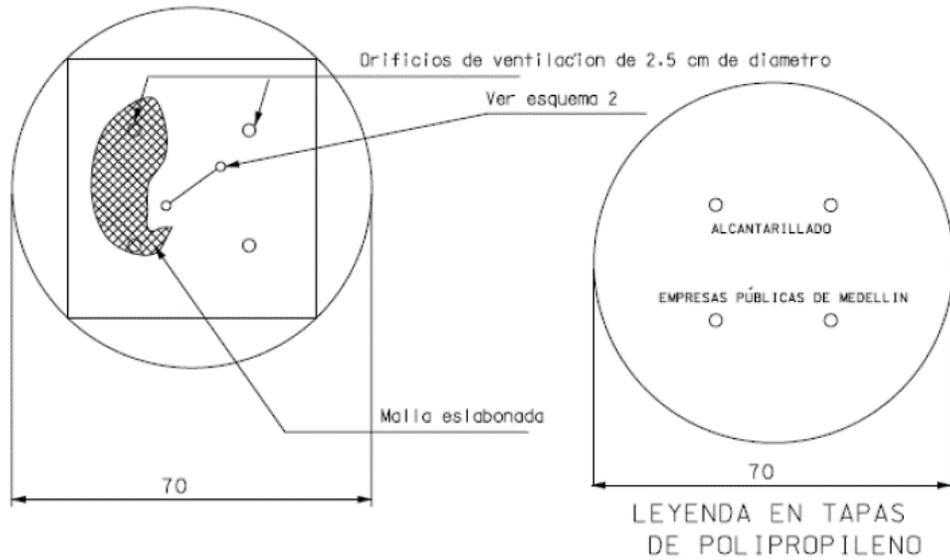


Figura 7. Planos de construcción y leyenda en tapas de polipropileno para cámaras de inspección. Recuperado de Normas y especificaciones generales de construcción, Capítulo 8, especificación 809.1

Para la implementación del sistema de seguridad se realizará una perforación en el centro de la tapa de 34mm de diámetro para permitir el ingreso de la llave de activación tipo tubular, como se ve en la Figura 8. Tapa de polipropileno para cámara de inspección. Fuente propia.

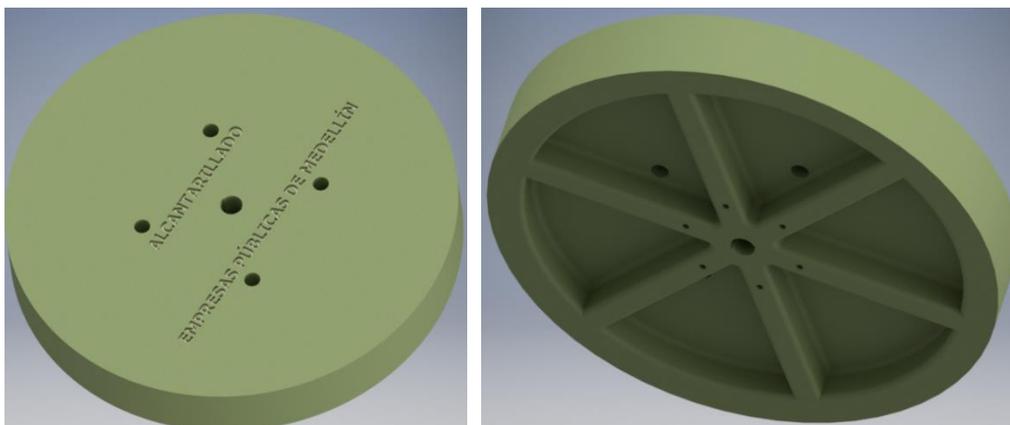


Figura 8. Tapa de polipropileno para cámara de inspección. Fuente propia.

2.3 NORMATIVIDADES PARA TAPAS DE POLIPROPILENO Y CAMARA DE INSPECCIÓN

En este proyecto se tomará como base, las tapas de polipropileno, por esta razón se mostraran las normas a regir para las tapas construidas con este material. Tanto las tapas de polipropileno como las cámaras de inspección deberán ser diseñadas en base a las

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

normas y especificaciones generales de construcción de cada una de las empresa de servicios públicos, en este caso nos regiremos a las normas de EPM, como la 809-1 “Tapas y anillos poliméricos para cámara y cajas de inspección” y las 807 - 808 “Cámaras de inspección vaciadas en sitio y prefabricadas” (EPM, 2012), la cual está basada en las Normas Técnicas Colombianas, NTC 1393 “Prefabricados. Tapas de hormigón de pozos de inspección”.

No se profundizara en el estudio de la cámara de inspección ni la tapa de polipropileno, pues este proyecto no modificara ninguna de estas partes, por ende sus características físicas no se verán afectadas; aunque sí será importante y necesario analizarlas junto con todo el mecanismo de seguridad.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de los objetivos específicos se realizó una búsqueda de información, sobre los distintos sistemas de seguridad integrados a las tapas de polipropileno para cámaras de inspección. Se concretó una reunión con algunos integrantes de EPM del aérea de red subterránea, acueducto y alcantarillado, para analizar los sistemas actuales utilizados para evitar el hurto de las tapas de alcantarillado, con el motivo de identificar posibles inconvenientes, los puntos críticos o alguna posibles fallas en el planteamiento del el sistema.

En una segunda fase, se procedió a investigar las normas técnicas colombianas NTC, las normas generales de EPM y entre otras normas similares para los requerimientos específicos de construcción de las tapas poliméricas; obteniendo así un criterio de selección del material a utilizar en el diseño del sistema. Se utilizaron las bases de datos del ITM, las empresas de servicios públicos y las bases de datos gratuitas de internet, para consultar sobre sistemas de acoples, sistemas de transmisión de movimiento, diseño de máquinas, etc.

Para la tercera fase se utilizó las herramientas de software tipo CAD y CAE, módulos de diseño virtual e ingeniería asistida por computador, que se encuentran disponibles en los laboratorios del ITM, que cuenta con equipos de cómputo de alto rendimiento y el uso de programas como Siemens Nx 9.0 y Autodesk Inventor profesional 2016, también se obtuvo una licencia estudiantil para Autodesk Inventor profesional 2016, por un tiempo de 3 años en el equipo de dotación de trabajo por la empresa Kinnesis Solution, para la creación y simulación de los sistemas de activación (Llave de activación tubular) y el sistema mecánico (Sistema de bloqueo).

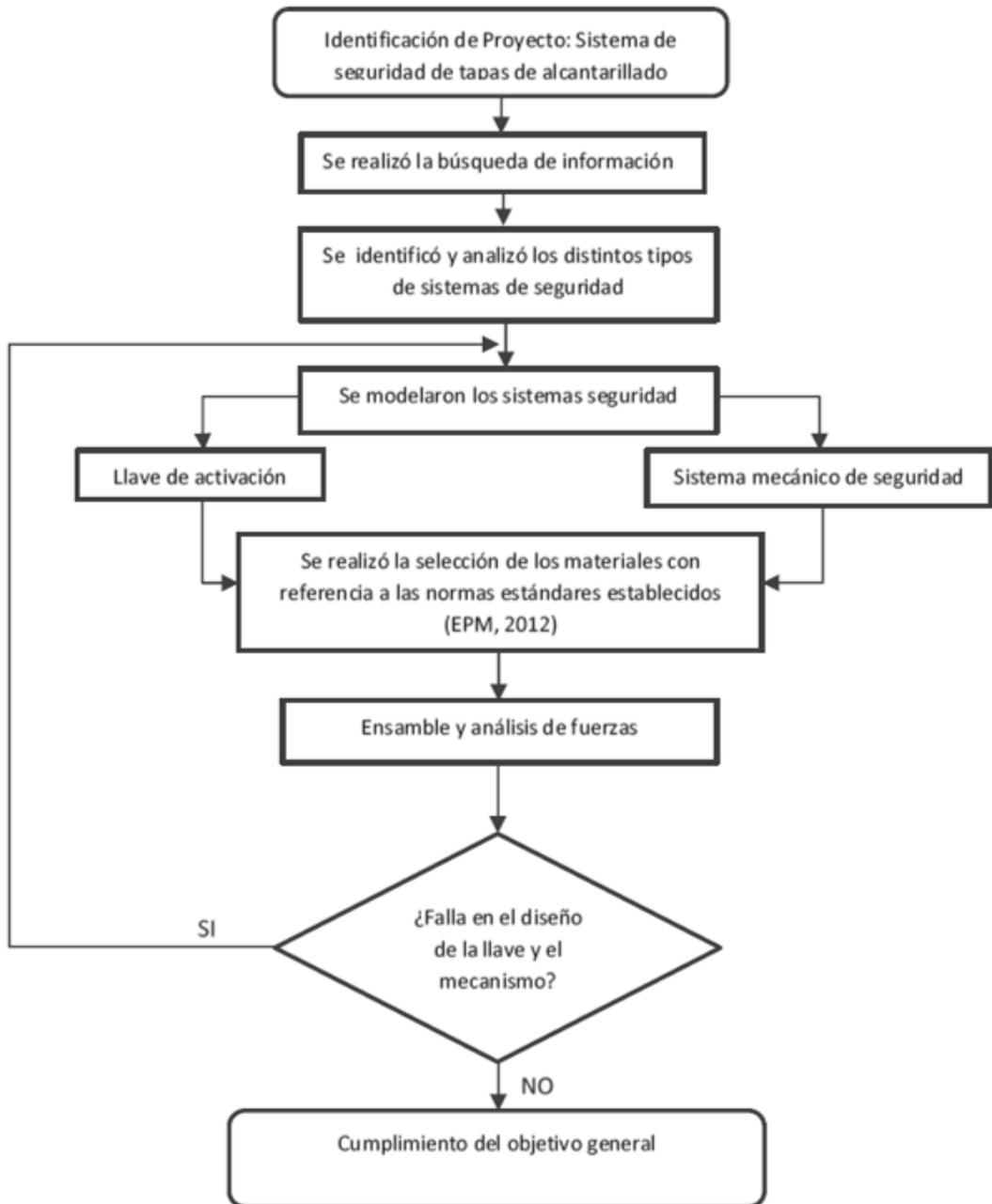


Diagrama 1. Estructuración metodológica. Fuente propia.

A continuación, se despliega la configuración, los parámetros y propiedades, de los elementos que componen el sistema, para continuar así, con las simulaciones avanzadas generar el análisis correspondiente para todos los escenarios posibles a los cuales podría estar expuesto.

3.1 PROPIEDADES FISICAS DEL SISTEMA.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Propiedades físicas del sistema acoplado a la tapa de alcantarillado.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD	ERROR RELATIVO (%)
Masa	= 36.577	Kg	0.005565
Área	= 1622266.940	mm ²	0.000458
Volumen	= 30032918.604	mm ³	0.005565

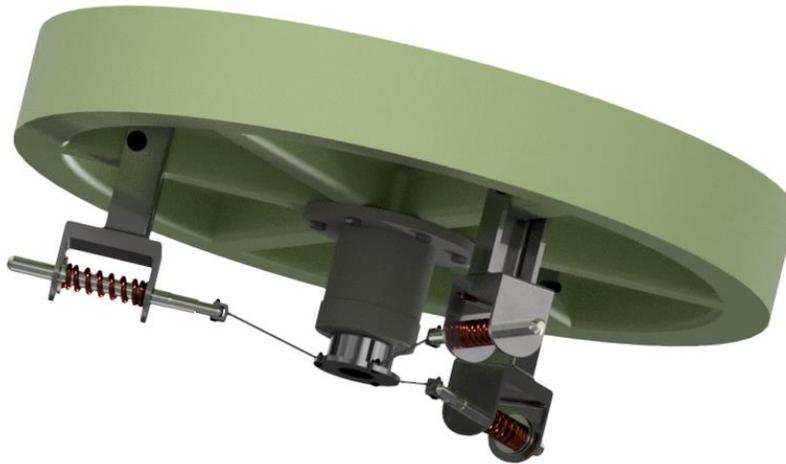


Figura 9. Sistema de activación y anclaje ensamblado en la tapa de polipropileno. Fuente propia.

Propiedades físicas del sistema mecánico de activación.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD	ERROR RELATIVO (%)
Masa	= 10.864	Kg	0.001886
Área	= 420128.716	mm ²	0.000290
Volumen	= 1431543.276	mm ³	0.001886

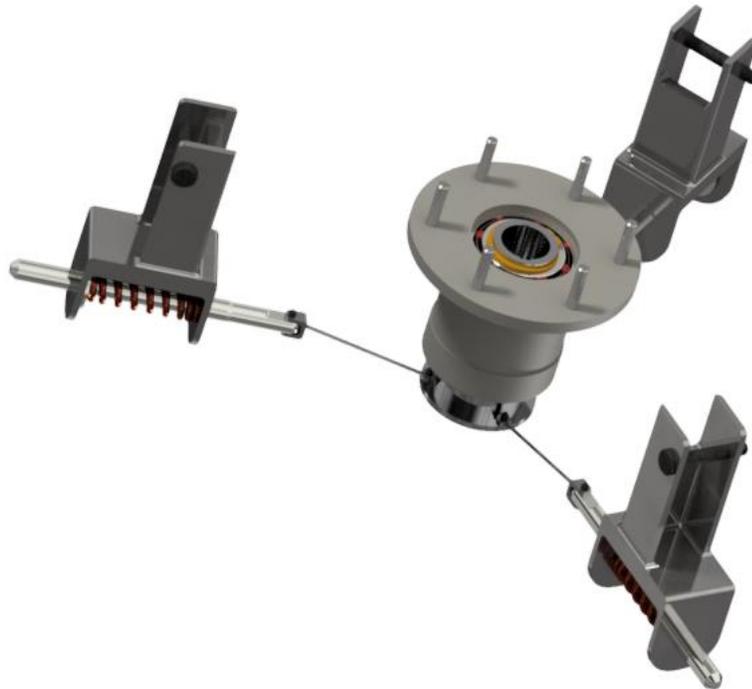


Figura 10. Sistema de activación y anclaje. Fuente propia.

3.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA Y LAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES

POLIPROPILENO	
Densidad de masa	= 0,899g/cm ³
Límite de elasticidad	= 30.3 Mpa
Resistencia máxima a tracción	= 36.5 Mpa
Módulo de Young	= 1.34 GPa
Coefficiente de Poisson	= 0.392 su
Modulo cortante	= 0.481322 GPa

PIEZAS

TAPA

Tabla 1. Propiedades físicas del Polipropileno

ACERO INOXIDABLE	
Densidad de masa	= 8g/cm ³
Límite de elasticidad	= 250 Mpa
Resistencia máxima a tracción	= 540 Mpa
Módulo de Young	= 193 GPa
Coefficiente de Poisson	= 0.3 su
Modulo cortante	= 74.2308 GPa

PIEZAS

Muelle de compresión para sincronización
Muelle de compresión para perno de anclaje
Pines de sincronización
Perno de anclaje
Componente móvil
Componente fijo
Tapa soporte de componente fijo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Soporte de perno

Tabla 2. Propiedades físicas del acero inoxidable.

ACERO AISI 4130		PIEZAS
Densidad de masa	= 7.85 g/cm ³	Soporte de perno
Límite de elasticidad	= 275.789 Mpa	Tornillos de acople
Resistencia máxima a tracción	= 517.104 Mpa	Tornillos de ensamble
Módulo de Young	= 199,947 GPa	Pasador de ensamble para soportes
Coefficiente de Poisson	= 0.3 su	
Modulo cortante	= 76.9027 GPa	

Tabla 3. Propiedades físicas del Acero AISI 4130.

3.3 CONFIGURACIÓN DE VISTA DE MALLA Y CONVERGENCIA

Con el motivo de reducir los errores de cálculos en la simulación, se modifican los parámetros de la malla, partiendo desde los parámetros por defecto del sistema.

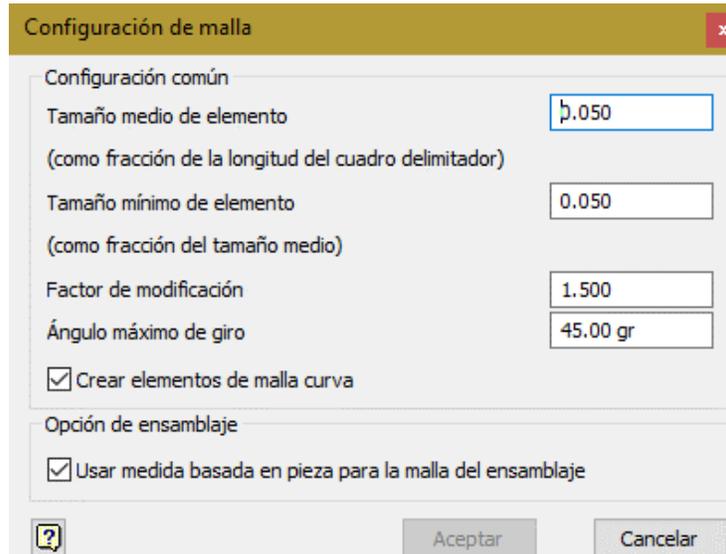


Figura 11 Configuración de malla. Fuente propia.

Se utilizó un valor de 0,05, con el propósito de tener una malla mucho más densa, pero utilizar este valor requiere mucho más tiempo para su análisis, pero será necesario para mejores resultados.

Para el Ángulo máximo de giro se utilizó un valor de 45°, esto permite dividir el segmento en un número mayor volviendo más densa la malla.

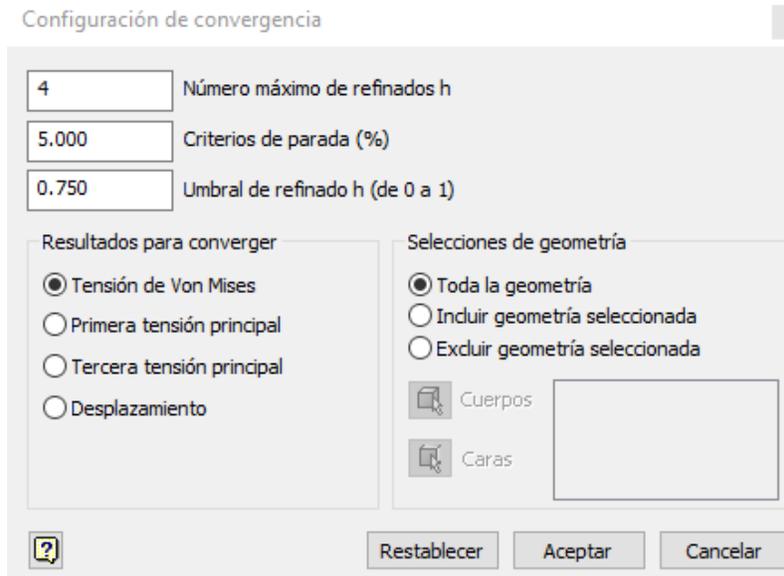


Figura 12. Configuración de convergencia. Fuente propia.

Se utilizó un valor de 4 para el número de refinados h, entre mayor sea el número de refinados mayor es el tiempo que se necesita para analizar y un valor de 5% para los criterios de parada.

3.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE SISTEMA MECÁNICO INTEGRADO DE ACTIVACIÓN

- Propiedades físicas del sistema acoplado a la tapa de alcantarillado.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD	ERROR RELATIVO (%)
Masa	= 36.577	Kg	0.005565
Área	= 1622266.940	mm ²	0.000458
Volumen	= 30032918.604	mm ³	0.005565

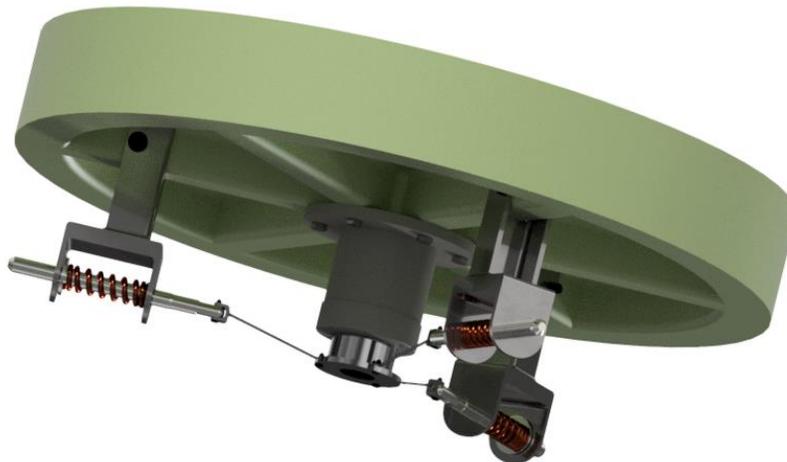


Figura 13. Sistema de activación y anclaje ensamblado en la tapa de polipropileno. Fuente propia.

- Propiedades físicas del sistema mecánico de activación.

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD	ERROR RELATIVO (%)
Masa	= 10.864	Kg	0.001886
Área	= 420128.716	mm ²	0.000290
Volumen	= 1431543.276	mm ³	0.001886

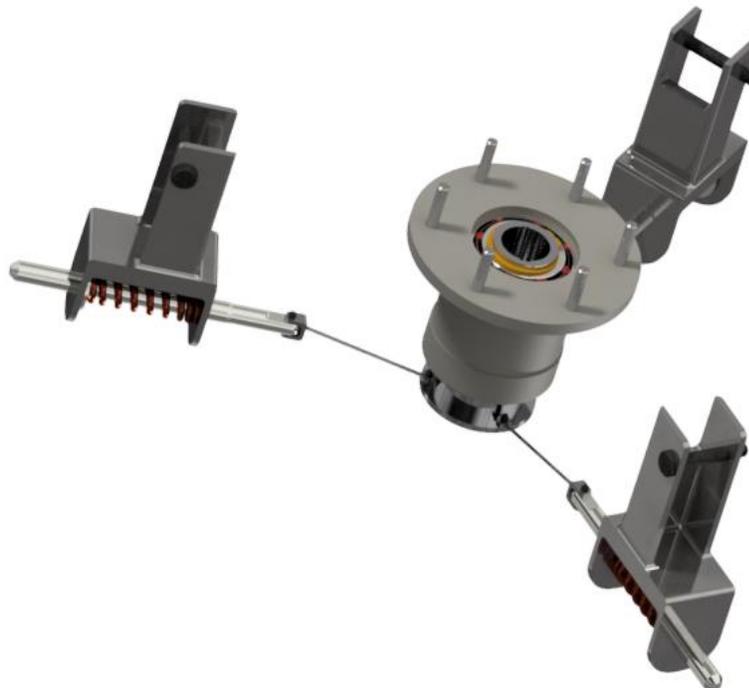


Figura 14. Sistema de activación y anclaje. Fuente propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.5 SIMULACIÓN PARA ANALISIS DE COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA MECÁNICO DE ACTIVACIÓN FRENTE A SITUACIONES DE HURTO Y POSIBLE DEFORMACIÓN DE LA TAPA.

A continuación se presentan 4 simulaciones de los posibles escenarios de hurto o cargas que generen deformación en la tapa de polipropileno, con el objetivo de observar el comportamiento que podría tener el sistema mecánico de activación. Las simulaciones estarán compuestas de 3 segmentos necesarias para el análisis:

- Un diagrama de cuerpo libre DCL.
- Resultado Tensión de Von Mises y tasa de convergencia.
- Desplazamiento.

3.5.1 SIMULACIÓN 1. RESISTENCIA A FLEXIÓN EN LA TAPA DE POLIPROPILENO.

Basados en los ensayos que señalan las normas y especificaciones generales de EPM (EPM, 2012), la tapa de polipropileno, deberá soportar una carga de 6.000 kg, sin generar fisuras; además soportar una carga de falla de 8.000 kg que genere fisuras internas, pero sin colapsar completamente; para esto la carga deberá estar ubicada en el centro de la tapa.

En la presente simulación se utilizó una carga de 8000 kg (8 Ton), lo que equivale a 78.453,2 N, como se ve en el diagrama de cuerpo libre (Ver Figura 15). El objetivo es analizar el comportamiento y la reacción que tendrá el mecanismo de activación y anclaje, cuando la tapa de polipropileno sufra una deformación causada por una carga de falla verticalmente.

- **DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE PARA SIMULACIÓN DE FLEXIÓN.**

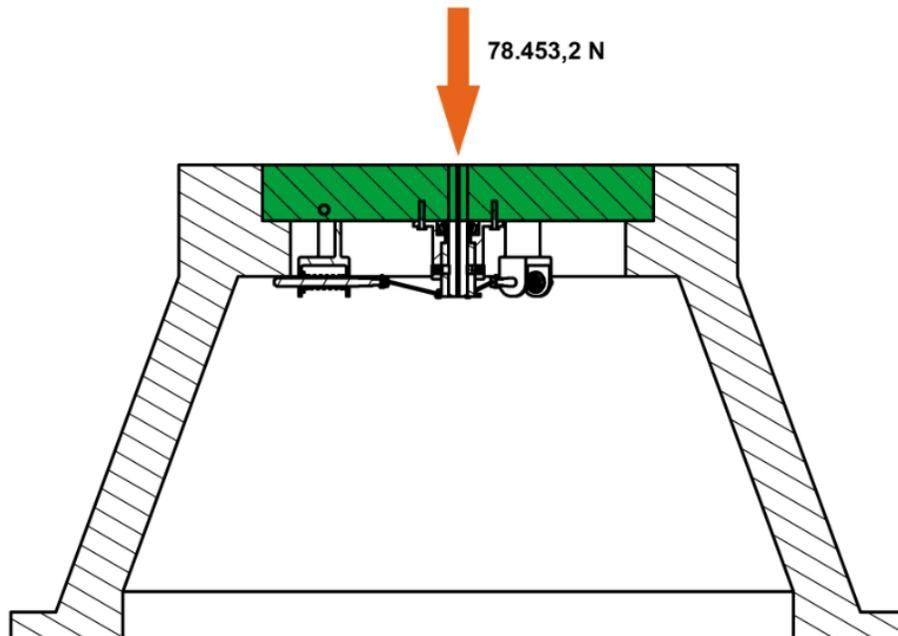


Figura 15. Diagrama de cuerpo libre con una carga de 8 Toneladas ejercida en el centro de la tapa. Fuente propia.

- **RESULTADO TENSIÓN DE VON MISES**

Analizando el resultado en general, se puede deducir que es un resultado exitoso, aunque el sistema de seguridad tiene puntos críticos donde se presentan las mayores cargas, este no se verá afectado.

Se logra observar que los puntos más críticos se presentan alrededor de los tornillos de ensamble; luego de llegar a los 8.000 Kg su tensión se encontraba al máximo con 424,7 MPa, causando que la tapa de polipropileno sea quien experimente la deformación. Este resultado nos demuestra que una carga a flexión deberá destruir la tapa de polipropileno para poder llegar al sistema mecánico de activación.

Nodos:1073239
 Elementos:687455
 Tipo: Tensión de Von Mises
 Unidad: MPa
 2017/02/13, 09:00:27 p. m.

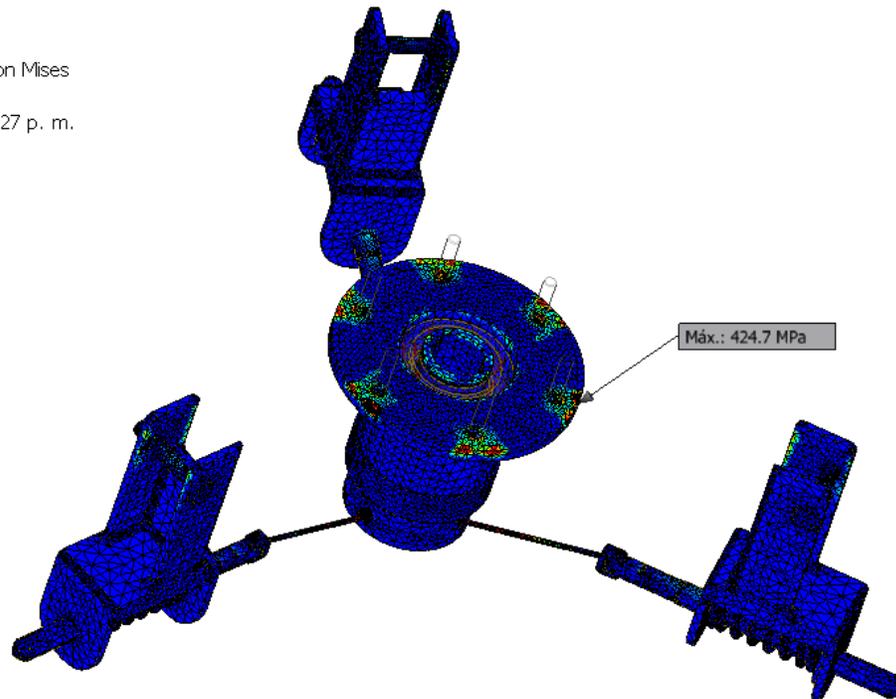
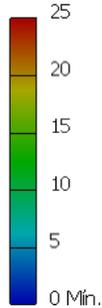


Figura 16. Simulación tensión de Von Mises del sistema de activación y anclaje. Fuente propia.

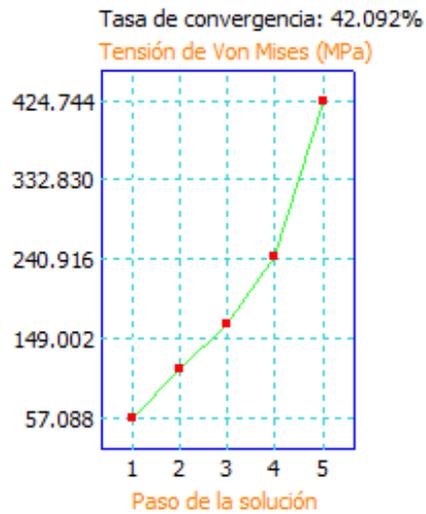


Figura 17. Tasa de convergencia para tensión de Von Mises. Fuente propia.

La tasa de convergencia se encuentra muy alta con un 42.092%, si se observa la ver Figura 17 se puede analizar como el sistema intenta estabilizarse en una solución donde su diferencia contra la solución anterior sea de un 5%. Las características de software del PC

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

en donde se realiza la simulación, no permite que el sistema desarrolle elementos de malla mucho más refinados; generando que la tasa de convergencia llegue a un valor $\leq 5\%$.

- **DESPLAZAMIENTO**

El desplazamiento máximo se presentara en el sistema de anclaje y será de 0.1552 mm, esta deformación en el estará causada por la deformación de la tapa de polipropileno; el sistema sigue intacto y no influye en su funcionamiento

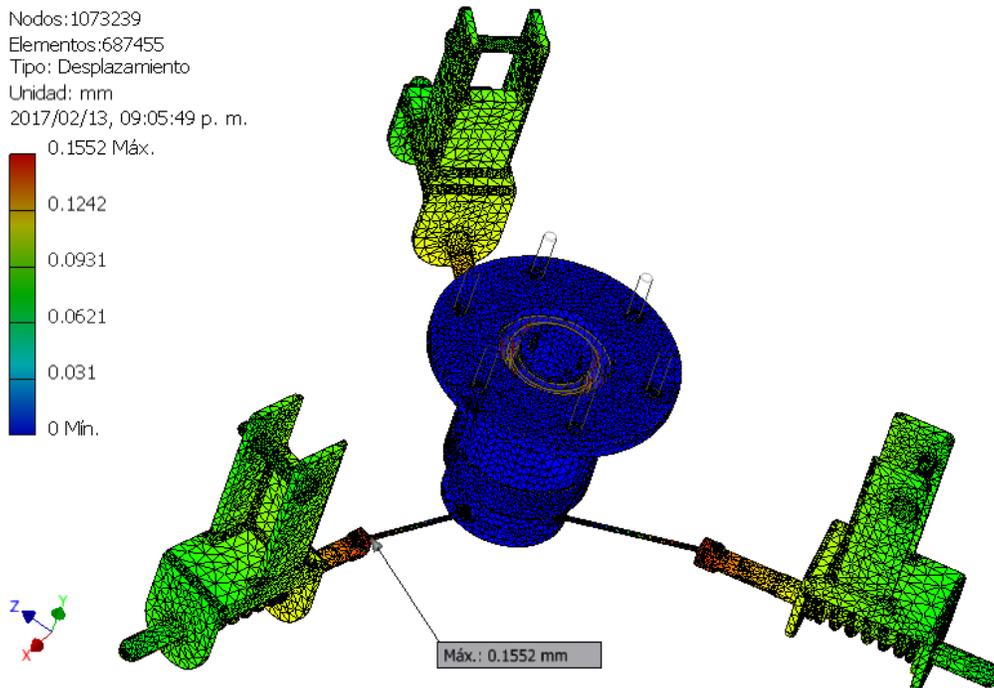


Figura 18. Simulación de desplazamiento del sistema de activación y anclaje. Fuente propia.

3.5.2 SIMULACIÓN INTENTO DE FRAUDE CON VARILLA DE ACERO AISI 4130.

Con esta simulación se pretende recrear un evento de fraude, donde se ingrese una varilla de acero AISI 4130, de diámetro 34 mm; generando sobre ella una de 275.789 Mpa, igualando su límite de elasticidad al máximo (MATWEB, S.F) , Ver Tabla 3., con el motivo de poder vulnerar el sistema de seguridad intentando causar el mayor daño posible.

- **D.C.L CON CARGA UBICADA VERTICALMENTE EN VARILLA DE ACERO.**

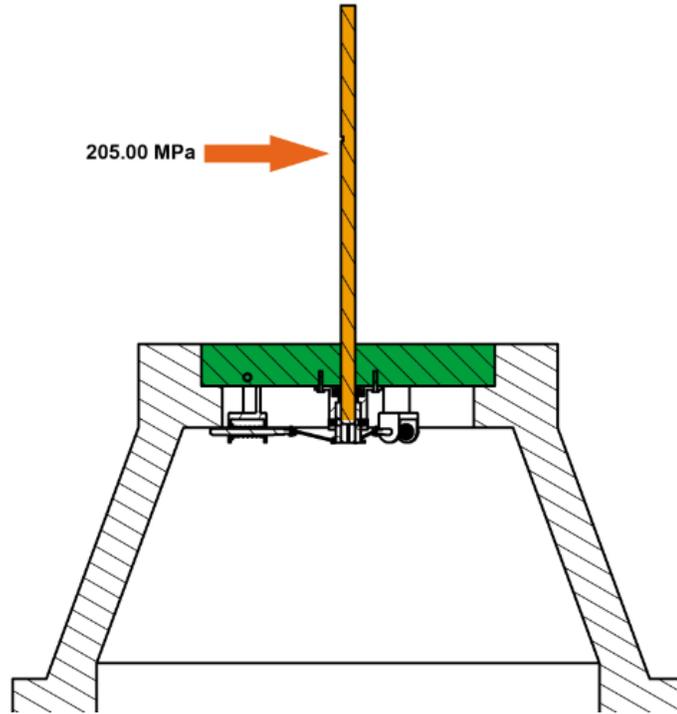


Figura 19. Diagrama de cuerpo libre, con carga ubicada en varilla de acero AISI 4130. Fuente propia.

Con esta simulación se pretende recrear un evento de fraude, donde se ingrese una varilla de acero AISI 4130, de diámetro 34 mm; generando sobre ella una presión de 30.3 Mpa, que equivale a su límite de elasticidad al máximo (MATWEB, S.F) , Ver Tabla 1. Propiedades físicas del Polipropileno., con el motivo de poder vulnerar el sistema de seguridad intentando causar el mayor daño posible.

- **RESULTADO TENSIÓN DE VON MISES**

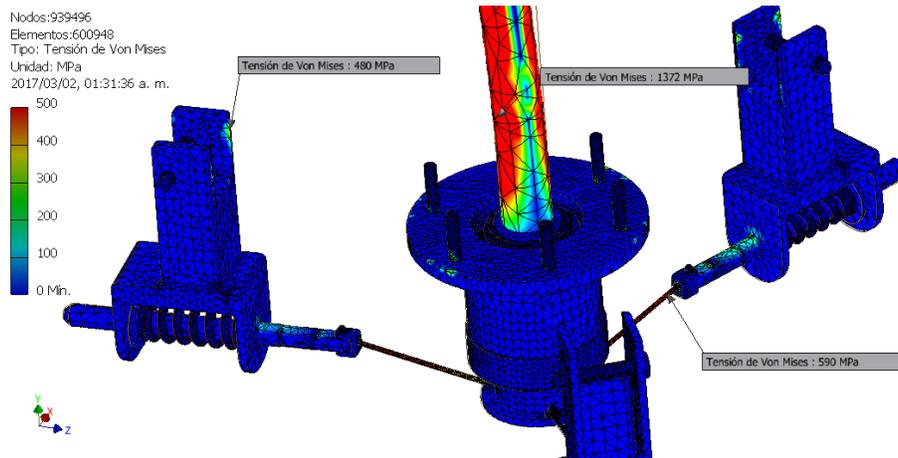


Figura 20. Resultados de análisis de tensión Von Mises. Fuente propia.

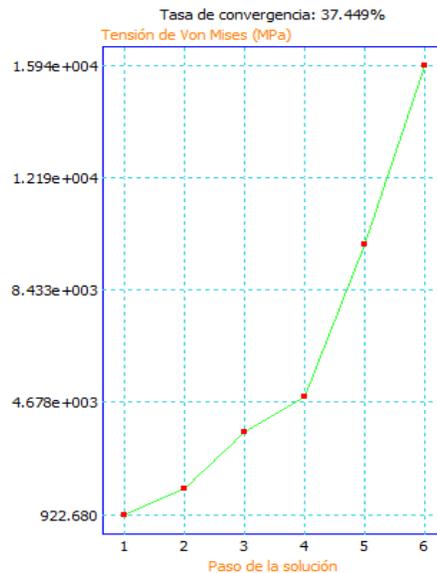


Figura 21. Tasa de convergencia de tensión de Von Mises con varilla de acero. Fuente propia.

3.5.3 SIMULACIÓN INTENTO DE APERTURA INTERNA Y CONCENTRACIÓN DE TENSION EN SISTEMA DE AGARRE.

En el siguiente análisis se pretende representar un evento de fraude, aunque esta prueba es algo particular, pues la carga estará situada en la parte inferior de la tapa polimérica, en uno de sus laterales, ver Figura 22. Para esta simulación se utilizó la misma carga empleada en el numeral 3.5.1, es decir, 8000 kg equivalentes a 78.453,2 N, el objetivo es simular una situación donde desde adentro de la cámara de alcantarillado se pretenda abrirla, con la

diferencia que la carga estará ubicada lejos del centro de la tapa, causando que las mayores tensiones se centren en uno de los pernos.

- **D.C.L CON CARGA DECENTRADA UBICADA DESDE LA ZONA INFERIOR**

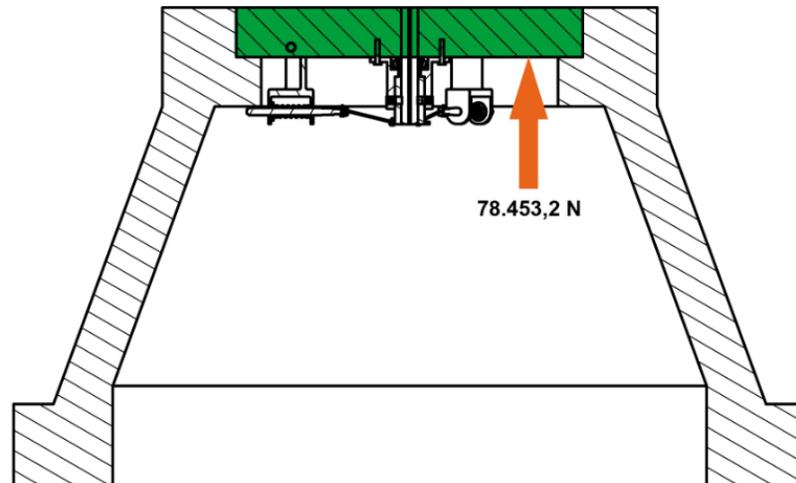


Figura 22. Diagrama de cuerpo libre, carga generada en la zona inferior de la tapa de polipropileno. Fuente propia.

- **RESULTADO TENSIÓN DE VON MISES POR CARGA EN LATERAL INFERIOR DE LA TAPA.**

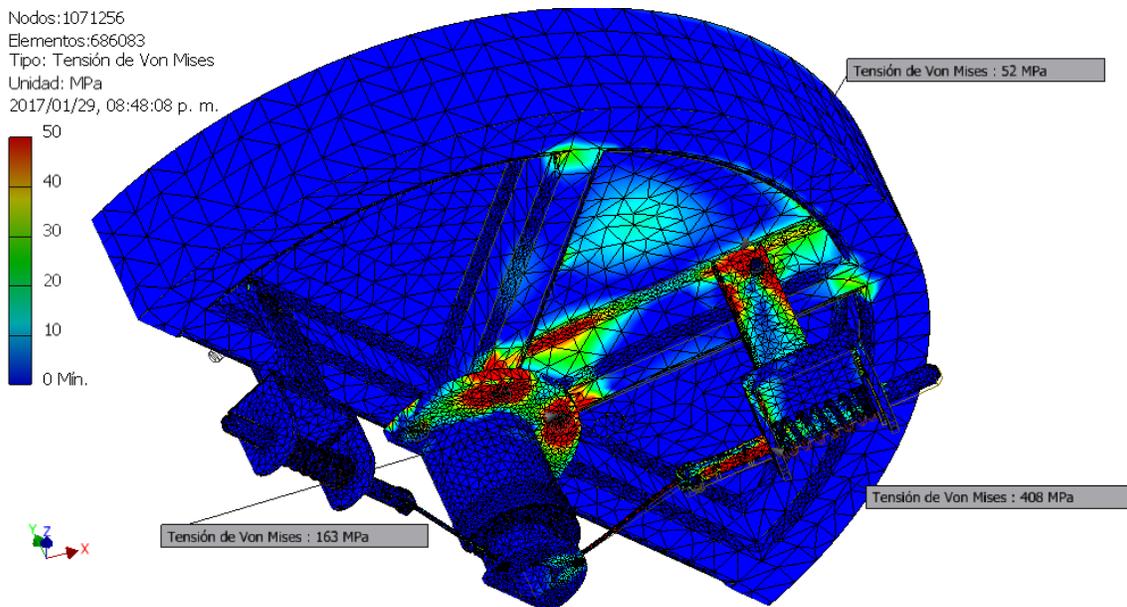


Figura 23. Resultados generales de tensión de Von Mises, sistema completo.

Los resultados generados por el software, demuestran que las tensiones no son lo suficientes para dañar el sistema, en caso de que se dañase un tornillo de acople o se reventara el cable de acero, el perno se encontrara totalmente expandido, lo que no permitiría la extracción de la tapa.

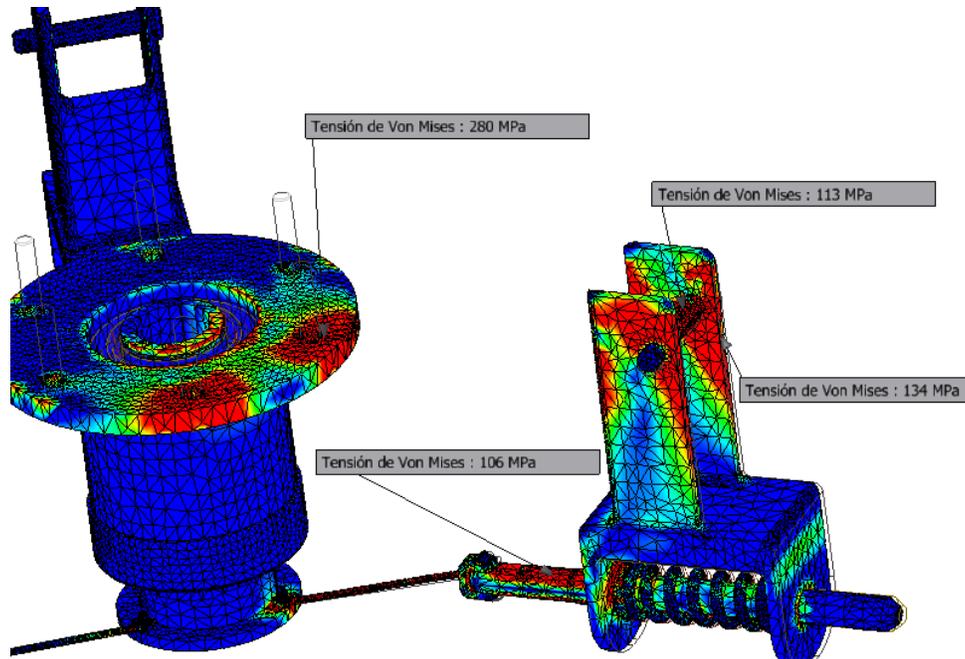


Figura 24. Resultados de tensión de Von Mises del sistema mecánico de bloqueo

- **DESPLAZAMIENTO**

Como la carga se encuentra centrada en una zona alejada del centro de la tapa polimérica, los esfuerzos se centraron en máximo es de 4,39 mm, que pertenece a la deformación de la tapa de polipropileno, el soporte sufrirá las mayores tensiones y tendrá una deformación de 4,116 mm, no siendo lo suficiente para permitir la apertura.

Nodos:1071256
 Elementos:686083
 Tipo: Desplazamiento
 Unidad: mm
 2017/01/29, 08:50:00 p. m.

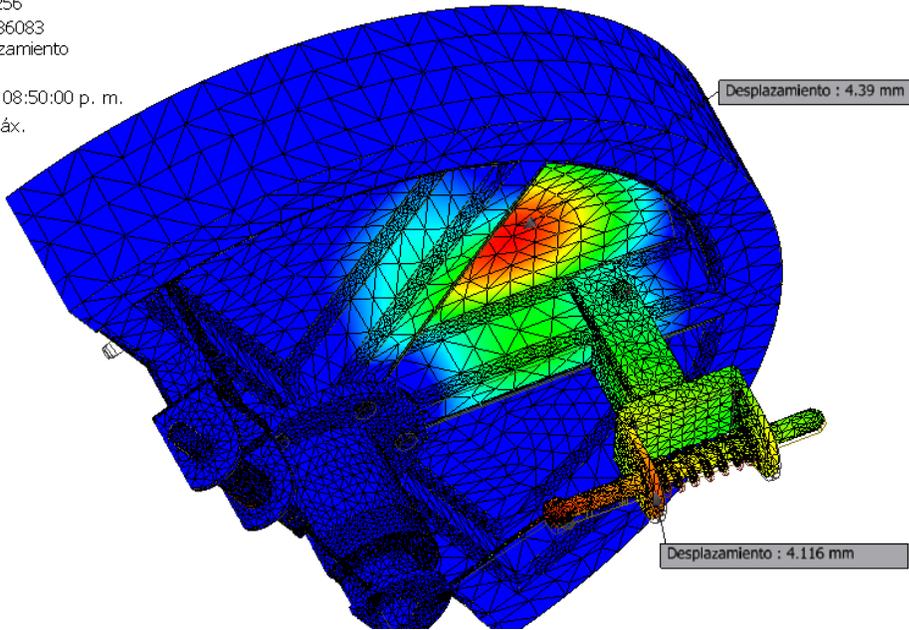
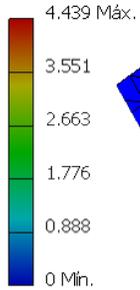


Figura 25. Resultados generales de deformación Sistema completo.

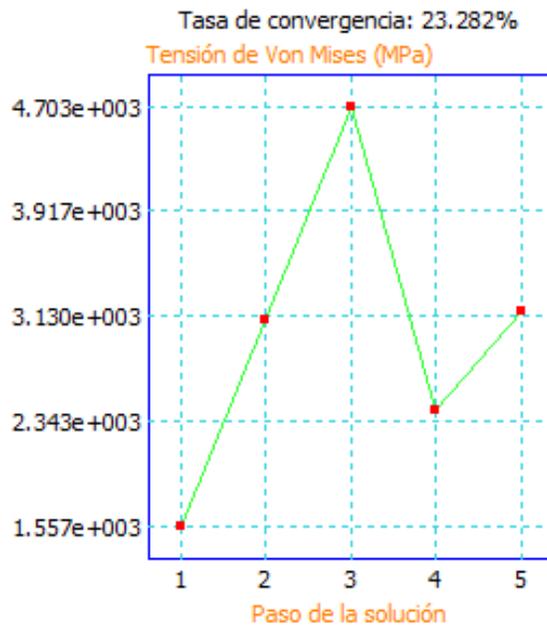


Figura 26. Tasa de convergencia tensión de Von Mises para simulación de apertura interna.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.5.4 SIMULACIÓN INTENTO DE DAÑO AL SISTEMA POR CARGA EN ZONA DE PINES DE SINCRONIZACIÓN.

Esta simulación tiene como objetivo demostrar que con una carga ejercida dentro del sistema de activación, este no se verá afectado. Se utilizara una carga de 1000 Kg (1 Tonelada), que equivale a 9.800 N, que estará ubicada en el componente móvil, donde se encuentra el pin móvil de sincronización, Ver Figura 27.

- **D.C.L CON CARGA UBICADA VERTICALMENTE EN VARILLA DE ACERO.**

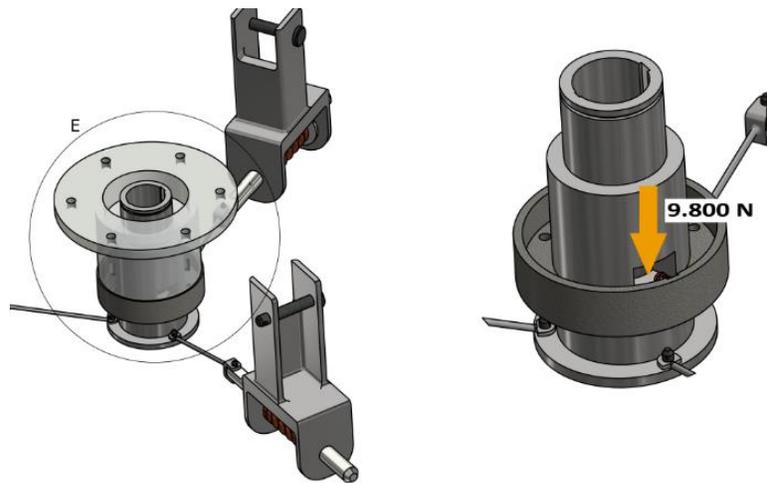


Figura 27. Diagrama de cuerpo libre, con carga ubicada en varilla de acero AISI 4130. Fuente propia.

Con esta simulación se pretende recrear un evento de fraude, donde se ingrese una varilla de acero AISI 4130, de diámetro 34 mm; generando sobre ella una presión de 30.3 Mpa, que equivale a su límite de elasticidad al máximo (MATWEB, S.F) , Ver Tabla 1. Propiedades físicas del Polipropileno., con el motivo de poder vulnerar el sistema de seguridad intentando causar el mayor daño posible.

- **RESULTADO TENSIÓN DE VON MISES**

Esta tensión aunque es muy alta, no genera afectaciones el sistema mecánico, aunque esta simulación es un escenario casi irreal, ya que una persona no podría generar cargas altas en esta zona donde se ubicó la carga simulada. Si una persona quisiera ingresar un dispositivo al sistema deberá ser igual o menor al diámetro de la llave que es de 35 mm, con muy poco espacio para realizar maniobras o muy poca área expuesta para generar golpes.

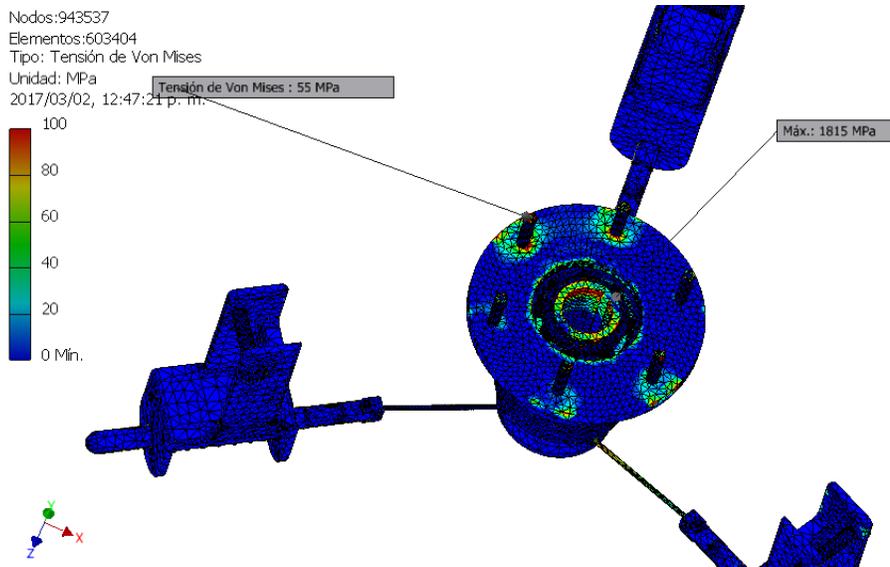


Figura 28. Resultados de análisis de tensión Von Mises. Fuente propia.

- **DESPLAZAMIENTO**

El desplazamiento para este escenario es muy bajo, su desplazamiento maximo es de 0.0968 mm, pues todo el esfuerzo se concentra en los tornillos de ensamble y no es significado de daño en su funcionamiento.

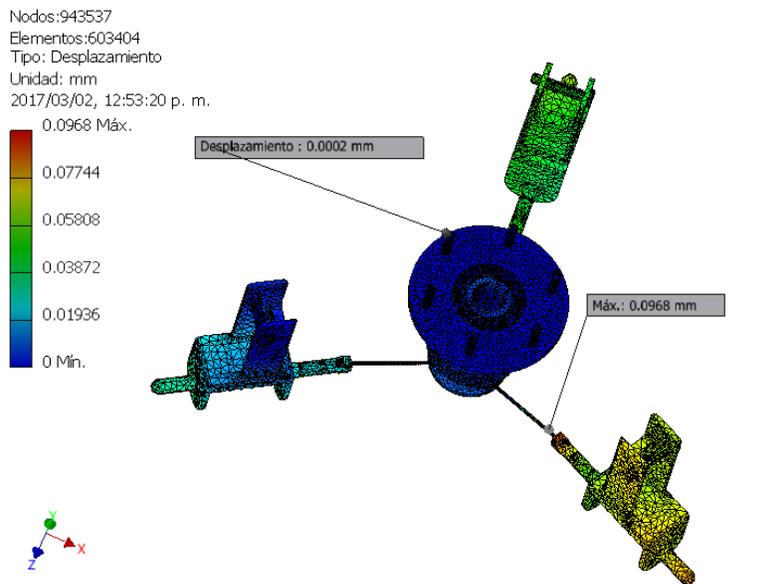


Figura 29. Desplazamiento por carga de 1000 Kg en zona de pines de sincronización.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

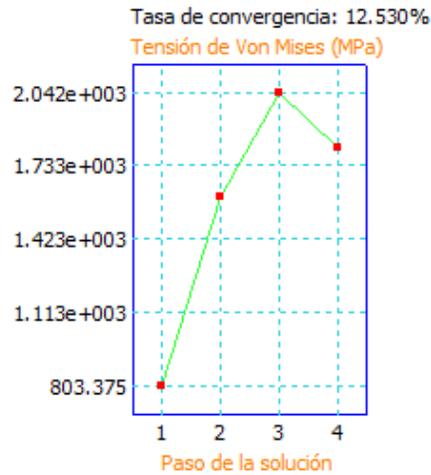


Figura 30. Tasa de convergencia de tensión de Von Mises por carga en zona de pines de sincronización. Fuente propia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 LLAVE DE SEGURIDAD TIPO TUBULAR

Se alcanzó con certeza la identificación del punto más crítico que tienen la mayoría de las soluciones actuales de seguridad, es decir que, se evidenció que el punto más crítico se presenta en los escasos métodos de apertura y/o activación de los sistemas mecánicos; estos NO son lo suficientemente seguros, ya que la mayoría son activados por medio tornillos o tuercas y son muy fáciles de vulnerar, pues solo consta de replicar una llave con el mismo diseño geométrico de la cabeza del tornillo o tuerca y así generar la apertura de esta. La meta en este proyecto fue crear e implementar una llave de activación tubular inmune y difícil de copiar, donde el método de activación no se encuentre expuesto, mucho menos al alcance de cualquier persona; por esta razón se planteó la forma de crear un diseño de una llave tubular la cual permitirá que el punto de apertura y/o activación fuera interno.

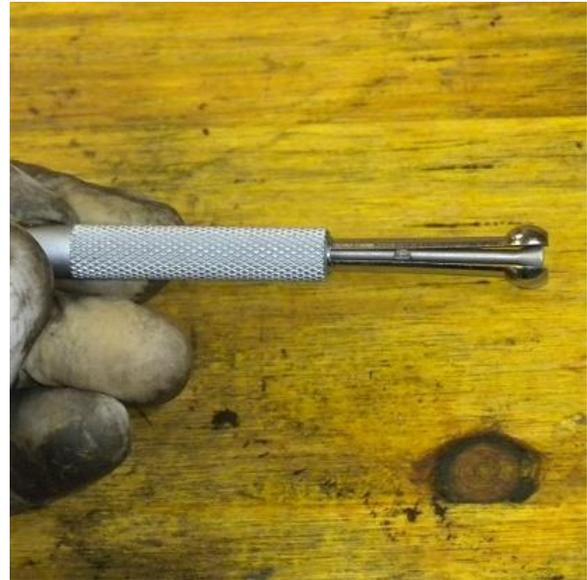
Se estudió el funcionamiento de las galgas telescópicas y las galgas para agujeros pequeños (Figura 31); se apostó por realizar una llave con el principio de funcionamiento de estos equipos. Estas galgas telescópicas se utilizan para la medición y obtención de dimensiones de agujeros o ranuras, como por ejemplo cilindros de pistón, orificios de válvulas y pernos, entre muchas más. Estas aprovechan la expansión de las dos puntas de contacto, mediante la fuerza generada por un resorte interno,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

inmediatamente que estas entrar en contacto con la pared del elemento, estas se fijan por medio de un tornillo, luego se remueve y se mide con el micrómetro; al contrario de la galga telescópica para agujeros pequeños, que no genera su expansión de las puntas de contacto por medio de un resorte, sino que las expande mediante el paso de un eje con cabeza ensanchada que se va recorriéndose mediante el giro de una rosca.



a). Galga telescópica superiores a 7mm.



b). Galga telescópica para agujeros inferiores a 8-7mm.

Figura 31. Galgas telescópicas.

Recuperadas de a). http://www.escuelainq.edu.co/uploads/laboratorios/2733_metrologia.pdf _ b). <http://www.ducatistas.com/foros/mecanica-accesorios/6-1-3-metrologia/>.

Uno de los mayores desafíos, fue poder crear un mecanismo interno en la llave, el cual pudiera controlar manualmente la apertura y cierre de los pines de sincronización, ver Figura 41, pieza F, estas pestañas son las encargadas de sincronizar las claves del mecanismo de activación, ver Figura 47 Pieza B, ubicado en la página 48.

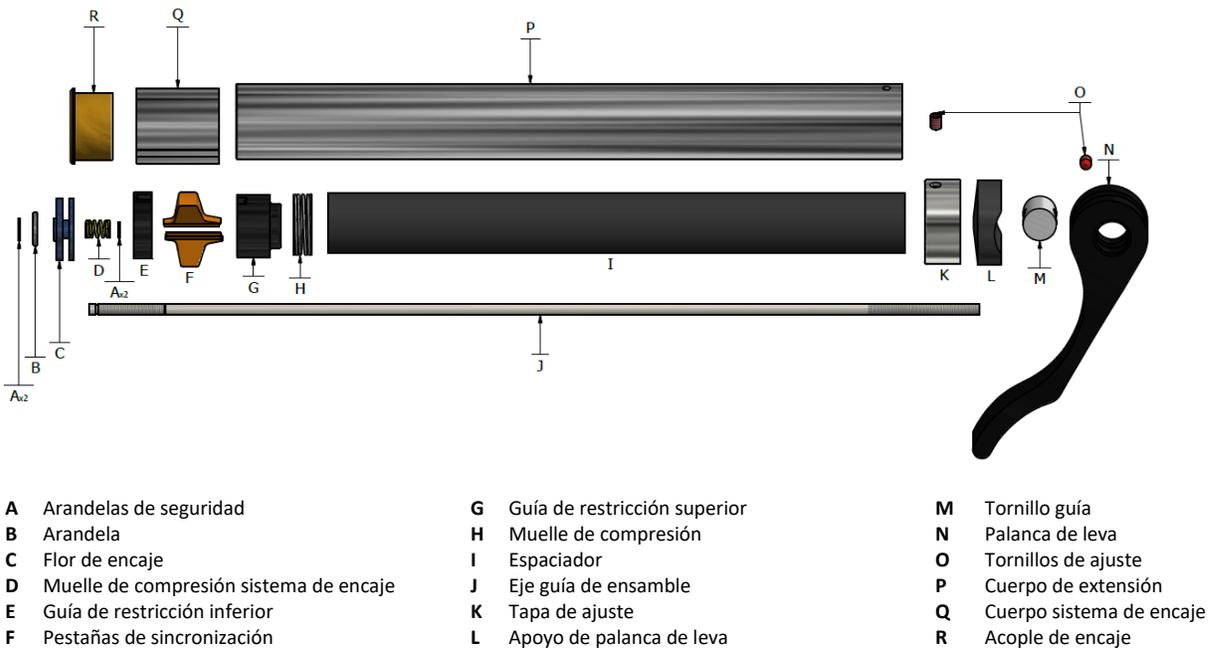


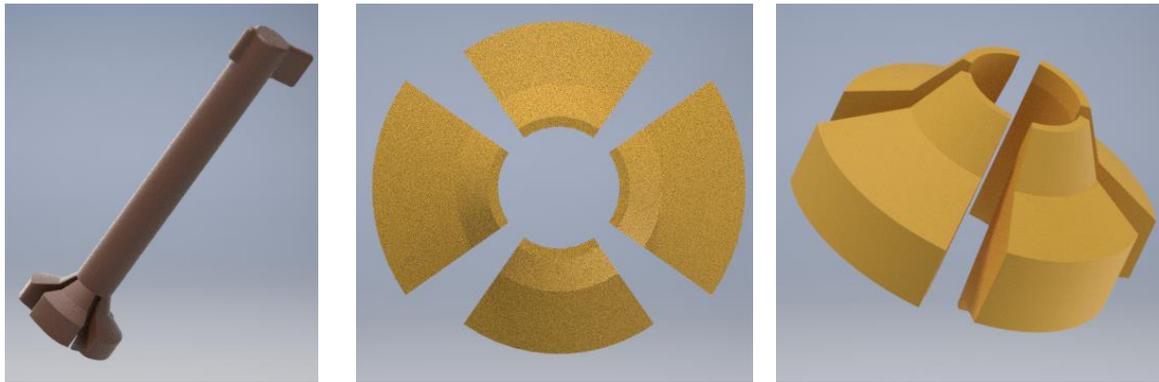
Figura 32 Plano de la llave de activación tipo tubular.

A continuación se describe el proceso de creación y su funcionamiento para cada uno de las secciones principales y los elementos que componen la llave de seguridad: Sección de pestañas de sincronización, sección sistema de anclaje por palanca de leva y la sección de posicionamiento de la llave.

4.1.1 MODELADO DE PESTAÑAS DE SINCRONIZACIÓN.

Inicialmente la llave de activación fue diseñada con 4 pestañas, con diámetros uniformes (ver Figura 33), se generó un análisis en su funcionamiento y comportamiento, se logró identificar que no había una necesidad de tener 4 pestañas para este primer piloto, ya que el uso de las 2 pestañas garantizaría una seguridad confiable y la obtención de una alta exactitud en el momento de sincronización con el sistema mecánico de bloqueo.

La ventaja de implementar las 4 pestañas con diámetros uniformes (Ver Figura 33), no se descartará para implementarlo en un futuro, ya que tener diámetros uniformes significa posibles variaciones, es decir, distintas claves; así se podría utilizar una llave para solo X cantidad de tapas o una llave por zona. Esto generara que: al perder una llave no se correrá el riesgo de quien la posea tenga el control del 100% de las tapas. De igual manera esto será implementado como un proyecto a futuro y no perteneciente a este piloto inicial.



a). Pestañas unidas al eje guía.

b). Dimisiones de las 4 Pestañas, diámetros uniformes.

Figura 33. Primer Pre-diseño de implementación de 4 pestañas. Fuente propia.

Se disminuyó la cantidad de pestañas a solo 2 unidades y se reajustó el método inicial que se tenía para generar la apertura y cierre de las pestañas; ya que disminuirla a solo 2 pestañas, estas quedarían sin ninguna restricción, rotando libremente sobre la cabeza ensanchada generando así movimientos involuntarios y perdiendo exactitud en la sincronización. Se había optado como primera modificación excluir la cabeza ensanchada, creando una rampa (Ver Figura 34, opción c.) y permitiendo a la pestaña de sincronización expandirse o contraerse (Apertura y/o cierre) restringiendo el giro involuntario en torno al eje guía.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura 34. Tercer Pre-diseño, implementación 2 pestañas con elemento guía. Fuente propia.

Luego de la creación de la rampa, se identificó que no se limitaría totalmente los movimientos involuntarios que podrían presentar las pestañas de sincronización, por lo cual se decidió realizar modificaciones nuevamente en el diseño y crear unas guías como se ve en la Figura 35).



Figura 35. Guías de restricción para pines de sincronización. Fuente propia.

Este nuevo diseño permitió asegurar el correcto desplazamiento de las pestañas de sincronización, además se completó con el objetivo de restringir los giros involuntarios por el cual estaba fallando los primeros prototipos. En la siguiente imagen Figura 34, se podrá observar el modelo final del ensamble de las pestañas de sincronización y las guías de restricción.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

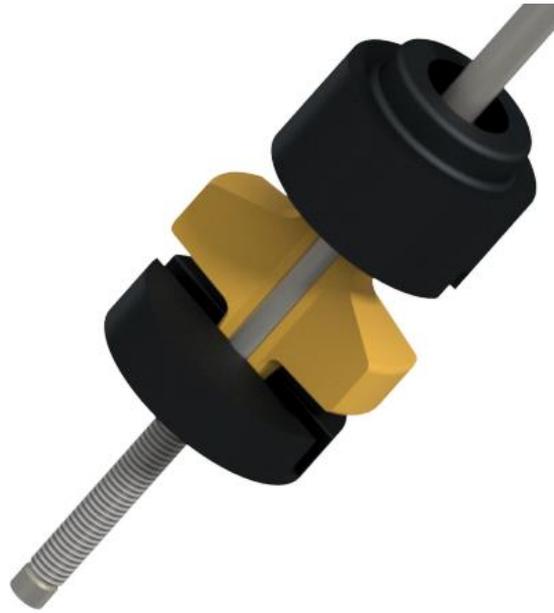


Figura 36. Modelo final del sistema de sincronización. Fuente propia.

4.1.2 SISTEMA DE ENCAJE POR PALANCA DE LEVA.



Figura 37. Diseño final Palanca de leva. Fuente propia

Luego de finalizar con el diseño de las pestañas de sincronización se trabajó en el sistema de encaje, es decir la palanca de leva (Ver Figura 37.), el cual es el encargado de mantener las pestañas presionadas mientras se encuentran expandidas, este sistema tendrá como objetivo generar un presión transversal (Ver en las pestañas de sincronización para evitar que luego de ser activadas, no se contraigan por medio de una fuerza externa.

En la siguiente vista frontal de la palanca de leva (Ver Figura 38) se puede observar las dimensiones utilizadas para su creación, donde se diseña con un valor de recorrido de $S=1.5$ mm, el cual equivale a la limitación del ángulo de movimiento en la posición de sujeción máxima.

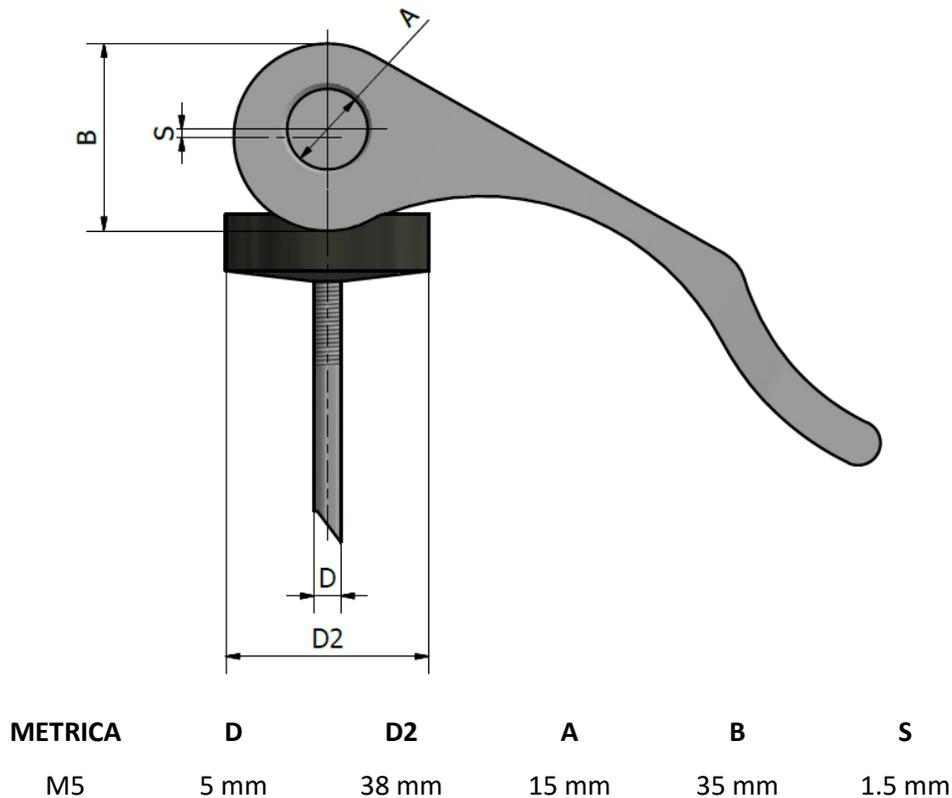


Figura 38. Diseño de palanca de leva. Fuente propia.

4.1.3 METODO DE ACOPLAMIENTO Y POSICIONAMIENTO.

Con el objetivo de asegurar el perfecto acople de la llave de seguridad con el sistema mecánico de activación, se implementaron dos guías (Ver Figura 39), estas guías vienen de distinto tamaño, esto con el objetivo de posicionar correctamente la llave de activación, es decir que la llave solo podrá ser ingresada al sistema en un solo sentido permitiendo un acople más preciso con el sistema mecánico de activación, asegurando así, el proceso de sincronización.

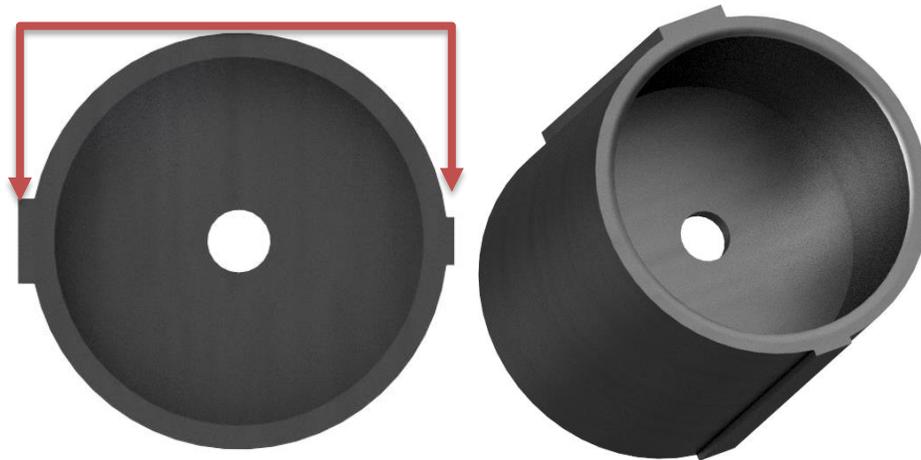


Figura 39. Cuerpo sistema de anclaje.

4.1.4 MODELO FINAL DE LLAVE DE SEGURIDAD TIPO TUBULAR.

Luego de analizar y diseñar los elementos en la cual se dividió la llave de seguridad, se realizó el ensamble de las piezas y se verifico el funcionamiento, en este punto no se presentaron inconvenientes que pudieran generar un cambio de diseño en la llave. Finalmente luego de analizar la llave de seguridad ya ensamblada, se inició con el diseño y el análisis del sistema mecánico integrado de activación.

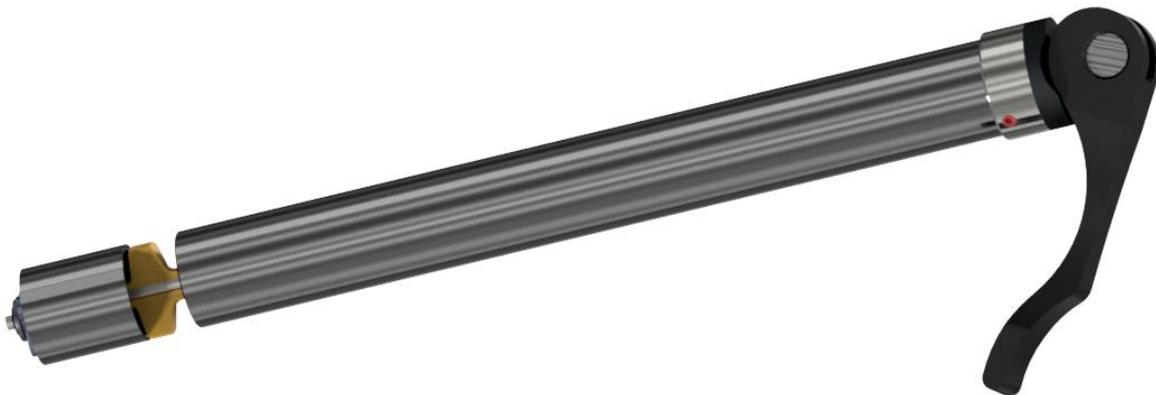


Figura 40. Modelo final de llave de seguridad tipo tubular. Fuente propia

4.2 SISTEMA MECÁNICO INTEGRADO DE ACTIVACIÓN Y ANCLAJE

El sistema mecánico integrado de activación, ver Figura 41, tiene como objetivo ser activada por medio de la llave de seguridad, ver Figura 40 Página 43, este sistema convertirá el movimiento circular de la llave y a un movimiento lineal en los pernos del sistema de anclaje, generando que estos se anclen a la cámara de inspección y evitar que la tapa de polipropileno sea desprendida, este sistema será activado únicamente por medio de la llave, está compuesto por dos secciones: Sección A sistema mecánico de activación y Sección B sistema mecánico de anclaje,

La Figura 41 corresponde al diseño final del sistema mecánico, cada sección se explicara posteriormente, además se mostraran los diseños iniciales y las implicaciones que obligaron a sus modificaciones y cambios de diseño.

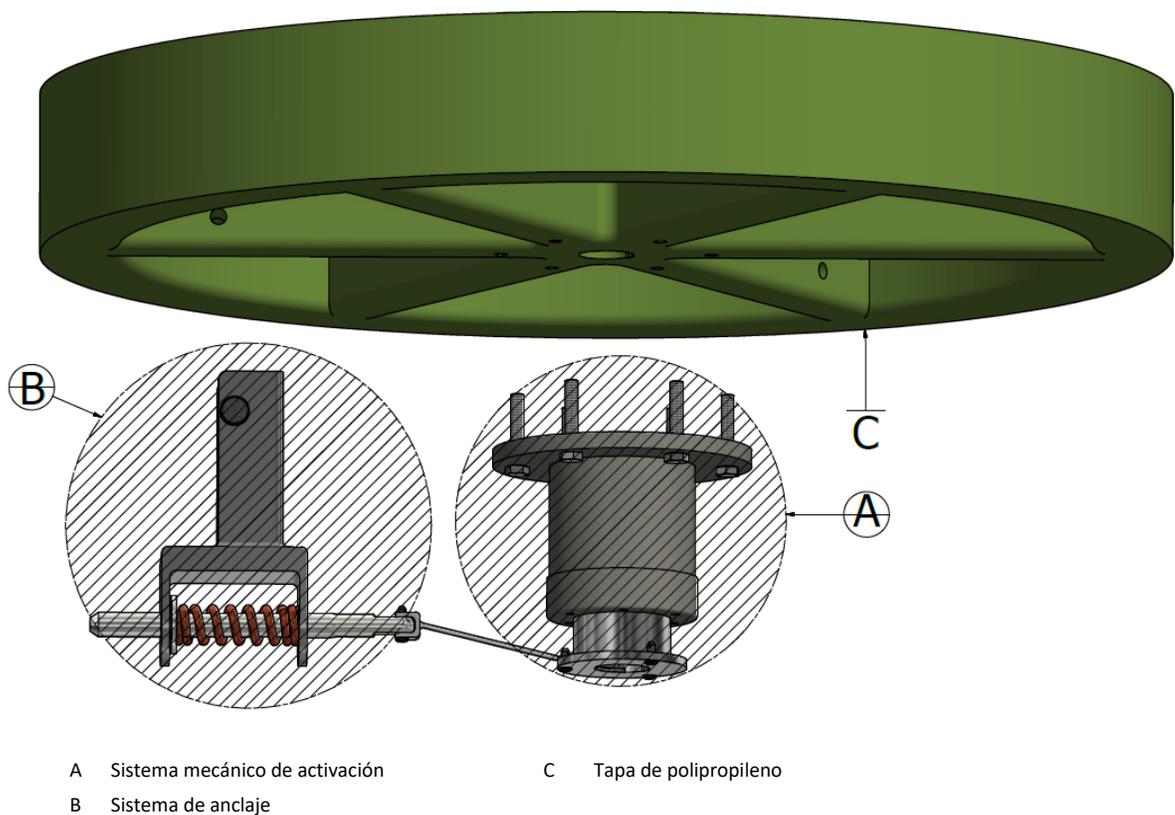


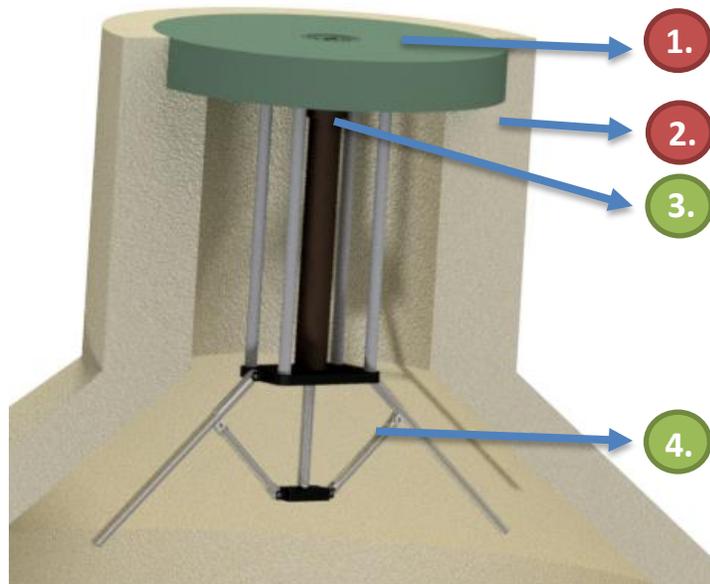
Figura 41. Plano del sistema de activación y de anclaje. Fuente propia.

Como se enunció al inicio de este trabajo, el objetivo no es incursionarnos en la mejora, modificación o rediseño de la tapa de polipropileno para cámaras de inspección. Este sistema mecánico de bloqueo será acoplado a las tapas que se encuentran en terreno; de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

igual manera se debe tener en cuenta la importancia que hay a futuro para la obtención de mejores resultados, la modificación y/o creación de una nueva tapa de alcantarillado.

4.2.1 PROTOTIPO 1, SISTEMA DE ACTIVACIÓN Y ANCLAJE POR MEDIO DE TORNILLO SIN FIN.



- 1). Tapa de polipropileno para cámara de inspección; 2). Sistema mecánico de bloqueo; 3). Cámara de inspección de alcantarillado; 4). Sistema mecánico de anclaje.

Figura 42. Elementos principales del primer prototipo acoplado (Sistema por tornillo sin fin). Fuente propia.

Se realizó el desarrollo del prototipo 1, de un sistema mecánico integrado de activación y anclaje por medio de un sistema por tornillo sin fin, con el objetivo de evaluar los criterios de diseño y maniobrabilidad, es decir, el nivel de dificultad que tendría el personal de Empresas Públicas de Medellín para retirar la tapa de la cámara de inspección; se logró evidenciar un problema con el sistema mecánico de anclaje (Figura 42, numeral 5.). Su funcionamiento consistía en el movimiento de un tornillo sin fin, el cual gradualmente permitirían la apertura de dos barras, hasta el punto de detenerse en la pared cónica de la cámara, obteniendo un agarre y evitando ser retirada. El problema detectado fue la longitud total que adquiere el sistema al estar desactivado, pues sería de aproximadamente de 0,8 metros y con un peso de casi 90 Kg, incluyendo la tapa de polipropileno; esta condiciones que desvirtuaron la solución y por esta razón se tomó la decisión de realizar el cambio completo del sistema de anclaje, de igual manera se mantuvo el diseño y funcionamiento del sistema mecánico de bloqueo.

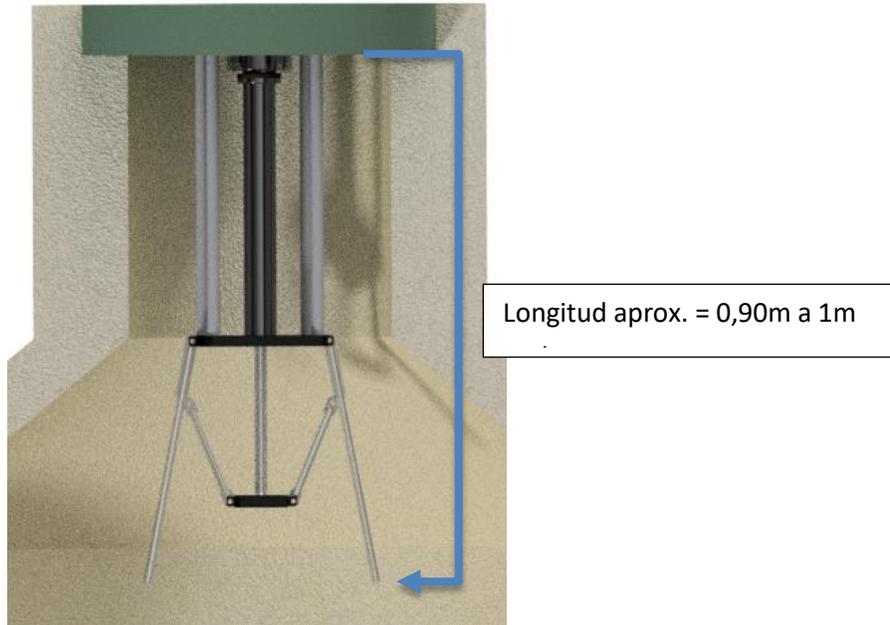


Figura 43. Longitud aproximada del diseño inicial del sistema de anclaje.

Inicialmente se había adicionado un rodamiento rígido de bolas para facilitar y disminuir la fricción en los elementos del mecanismo fijo y móvil, como resultado de haber logrado llegar al funcionamiento ideal del sistema de activación, se procedió a realizar la mejora del rodamiento rígido por un rodamiento de rodillo cónico para permitir soportar mayores cargas y de igual manera soportar cargas combinadas radiales y axiales, ayudando a estabilizar el sistema de activación frente a cargas alejadas del centro de la tapa o el sistema.

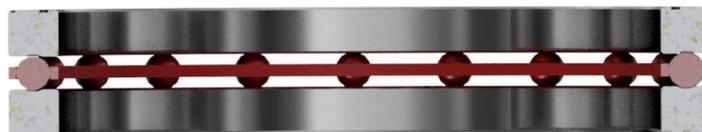


Figura 44. Rodamiento rígido de bolas.



Figura 45. Rodamiento de rodillo cónico.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2.2 SISTEMA DE ACTIVACIÓN

Este sistema de activación será el encargado de realizar el proceso de sincronización y permitir la comunicación entre la llave de seguridad con el sistema mecánico de anclaje, este sistema se compone de 2 componentes, una Fijo y una Móvil:

- El Componente Fijo, ver Figura 46, pieza B, se encuentra anclado a la tapa de polipropileno por medio de 6 tornillos, su objetivo principal es permitir la integración entre el componente Móvil y los pines encargados de la sincronización.
- El Componente Móvil, ver Figura 46, pieza D, (está integrado al sistema de activación por medio de una arandela de seguridad (la cual descansará en un rodamiento de rodillo cónico que se asienta en el componente fijo. Su objetivo principal es convertir el movimiento circular en un movimiento lineal y esto será posible solo cuando la llave de seguridad encaje con los pines de sincronización y permita al componente móvil girar con libertad.

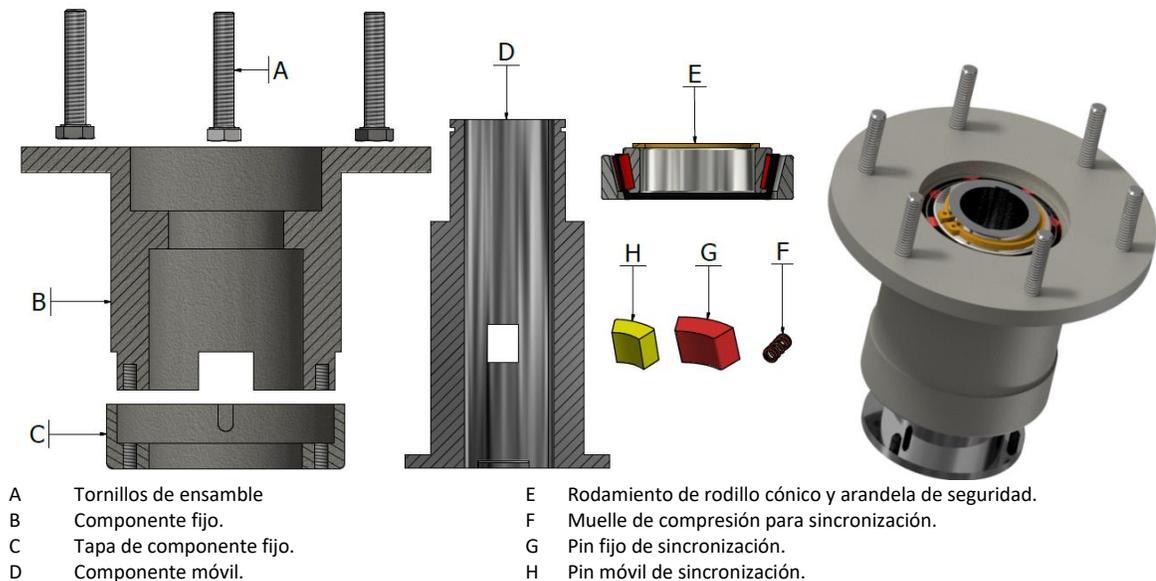


Figura 46. Plano del sistema de activación y sincronización.

Posteriormente se hablará del proceso de sincronización, el cual estará dividido en 3 niveles (Estado en reposo, sincronización de pestañas y giro de componente libre).

- **ESTADO DE REPOSO DEL SISTEMA DE SINCRONIZACIÓN, SIN INTEGRACIÓN DE LA LLAVE.**

En el estado en reposo la llave de activación no está en integración con el sistema de sincronización, es decir, los pines de sincronización, ver Figura 47, piezas A y B, tienen como tarea de generar un bloqueo del componente móvil, evitando así que este gire libremente; los pines siempre estarán siendo empujados por 2 muelles de compresión ver Figura 41, con el objetivo de mantener en todo momento los pines cerrados.

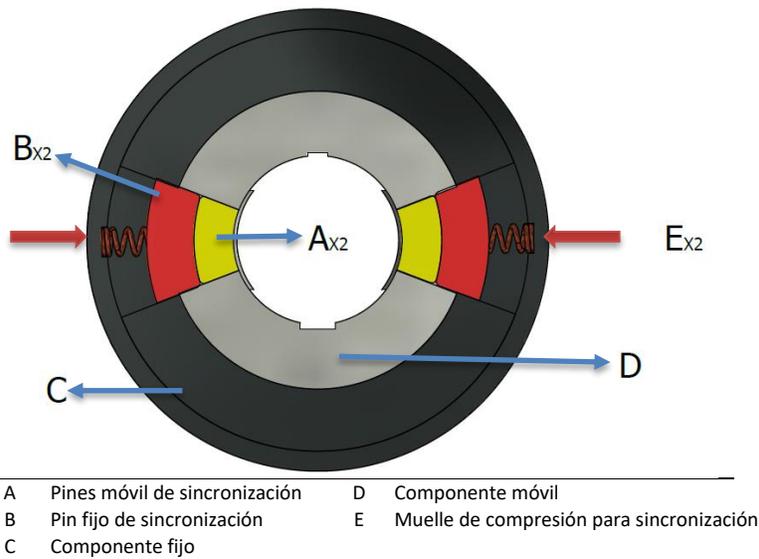


Figura 47. Estado en reposo de las pestañas de sincronización. Fuente propia

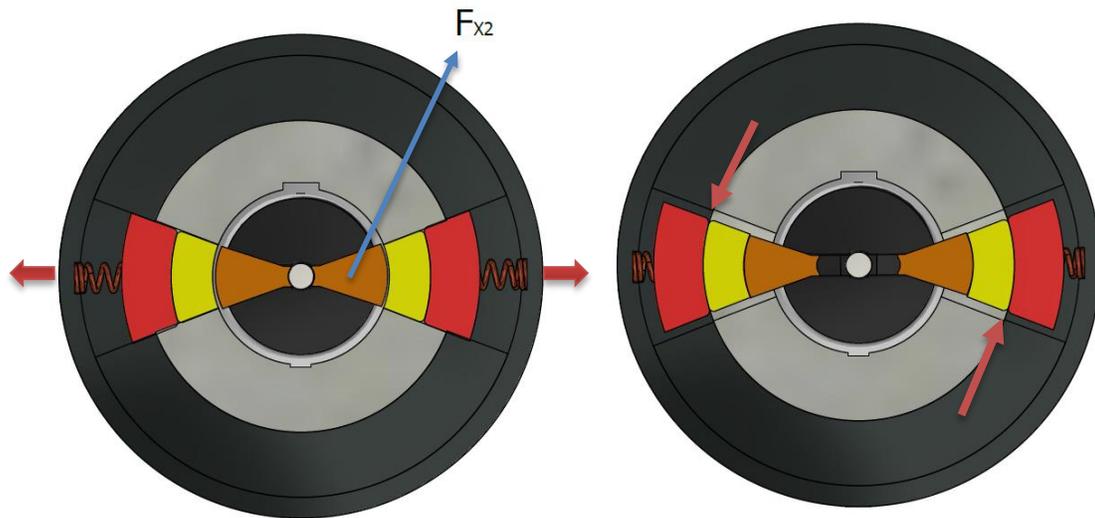
En este estado de reposo se encuentra los pernos de anclaje, totalmente expandidos, es decir, lo pernos estarán totalmente extendidos evitando así la posibilidad de retirar la tapa polimérica de la cámara de inspección.



Figura 48. Expansión de pernos en estado de reposo de sistema de activación

- INTEGRACIÓN DE LA LLAVE DE SEGURIDAD CON EL SISTEMA DE SINCRONIZACIÓN.**

En esta sección, se realiza una integración de la llave de seguridad con el sistema de sincronización; aquí se activan las pestañas de la llave, ver Figura 49, esto con el objetivo de empujar los pines del sistema de sincronización, presentados anteriormente en la Figura 47, permitiendo la sincronización de entre el componente móvil y el componente fijo, ver Figura 47, pieza C y D.



F Pestañas de sincronización de la llave de seguridad.

Figura 49. Sincronización de pestañas por integración de la llave de seguridad. Fuente propia.

- GIRO DEL COMPONENTE FIJO POR SINCRONIZACIÓN DE PINES**

Luego de sincronizadas las pestañas, se podrá ser realizado el giro del componente móvil, el cual estará acoplado a los pernos.

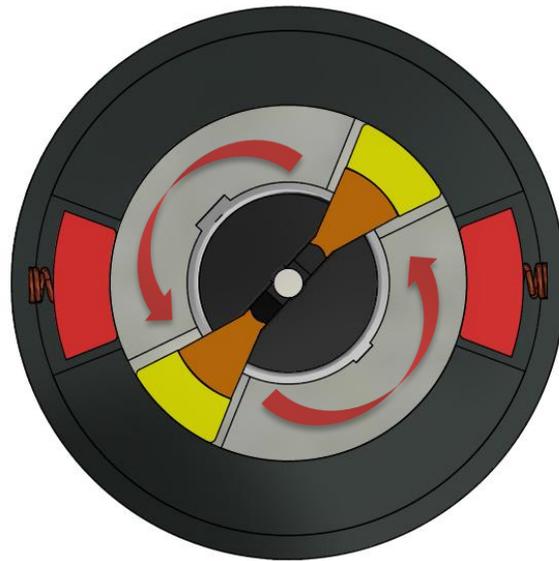


Figura 50. Giro de componente libre.

En el momento en que se realiza el giro del componente móvil, solo permitirá el giro de 90°, halando el perno por medio del cable de acero y permitiendo que la tapa pueda ser retirada de la cámara de inspección.



Figura 51. Activación y sincronización del sistema de seguridad.

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 CONCLUSIONES.

5.1.1 CONCLUSION GENERAL.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se realizó un diseño y el modelado 3D de un sistema de seguridad para tapas de polipropileno, en el cual se integró un sistema mecánico de bloqueo y una llave de activación tipo tubular, analizando su funcionalidad y su manufactura, además la simulación de todo el sistema.

5.1.2 CONCLUSIONES COMPLEMENTARIAS.

La llave de activación tipo tubular se creó basada en el funcionamiento de las galgas telescópicas. Además requeridos tres pre-diseños para llegar al prototipo final, pues en cada uno se debía dar soluciones a problemas de fabricación y diseños de algunas de las piezas.

El sistema mecánico de bloqueo fue diseñado y modelado para poderse acoplar con la llave de activación por medio de los pines de sincronización y poderse integrar con el sistema mecánico de anclaje. El material que se implementará será de acero inoxidable, pues su exposición a un ambiente extremo, húmedo y con expuesto a gases corrosivos. Se buscó en el diseño de todas las piezas que el costo de manufactura sea lo menor posible.

Con la ayuda de Autodesk Inventor, se realizó el modelado y la simulación para los análisis de tensión y funcionamiento. Los datos arrojados por estos análisis, nos sirvieron para reflejar el éxito en su funcionamiento y su resistencia frente a un escenario de carga normal y expuesta a cargas críticas.

El sistema de seguridad, es decir, la llave de activación y el sistema mecánico de bloqueo (No considerando el sistema de anclaje), se podrán integrar a muchos procesos y sistemas que necesiten seguridad. Este sistema de activación podrá remplazar cualquier tipo sistema de seguridad sin la necesidad de candados, sistemas magnéticos y eléctricos, entre otros.

5.2 RECOMENDACIONES.

Este mecanismo de seguridad va acoplado por medio de tornillos a la tapa de alcantarillado; se espera obtener para mejores resultados en la seguridad y la reducción de costos, crear una tapa de otro material polimérico, otras dimensiones y/o especificaciones; ya que la tapa de polipropileno tiene un desgaste, una deformación y una cristalización que se evidencia al paso del tiempo, como se observan en la Figura 1, página 10 y Figura 6, página 15.

5.3 TRABAJO FUTURO

Se fabricará un prototipo en impresora 3D y se presentara a EPM para validar la eficiencia que podría tener el dispositivo con ayuda de la gran experiencia como empresa de servicios.

Para la llave de activación tipo tubular, se implementara un sistema de GPS interno, el cual estará asociado a un software de gestión; por lo tanto se podrá administrar y gestionar las rutas/zonas acopladas al sistema, dando a conocer la ubicación actual de la llave y sus respectivas tapas asociadas. Además se pretende implementar la llave de activación y el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

sistema mecánico de bloqueo para distintos sistemas de seguridad, dando como solución a otras problemáticas.

Analizar y modificar su estructura, en los materiales de las tapas para cámaras de inspección de polipropileno, pues se ha identificado el desgaste y la cristalización poniendo en peligro la integridad de peatones, motociclistas y carros.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

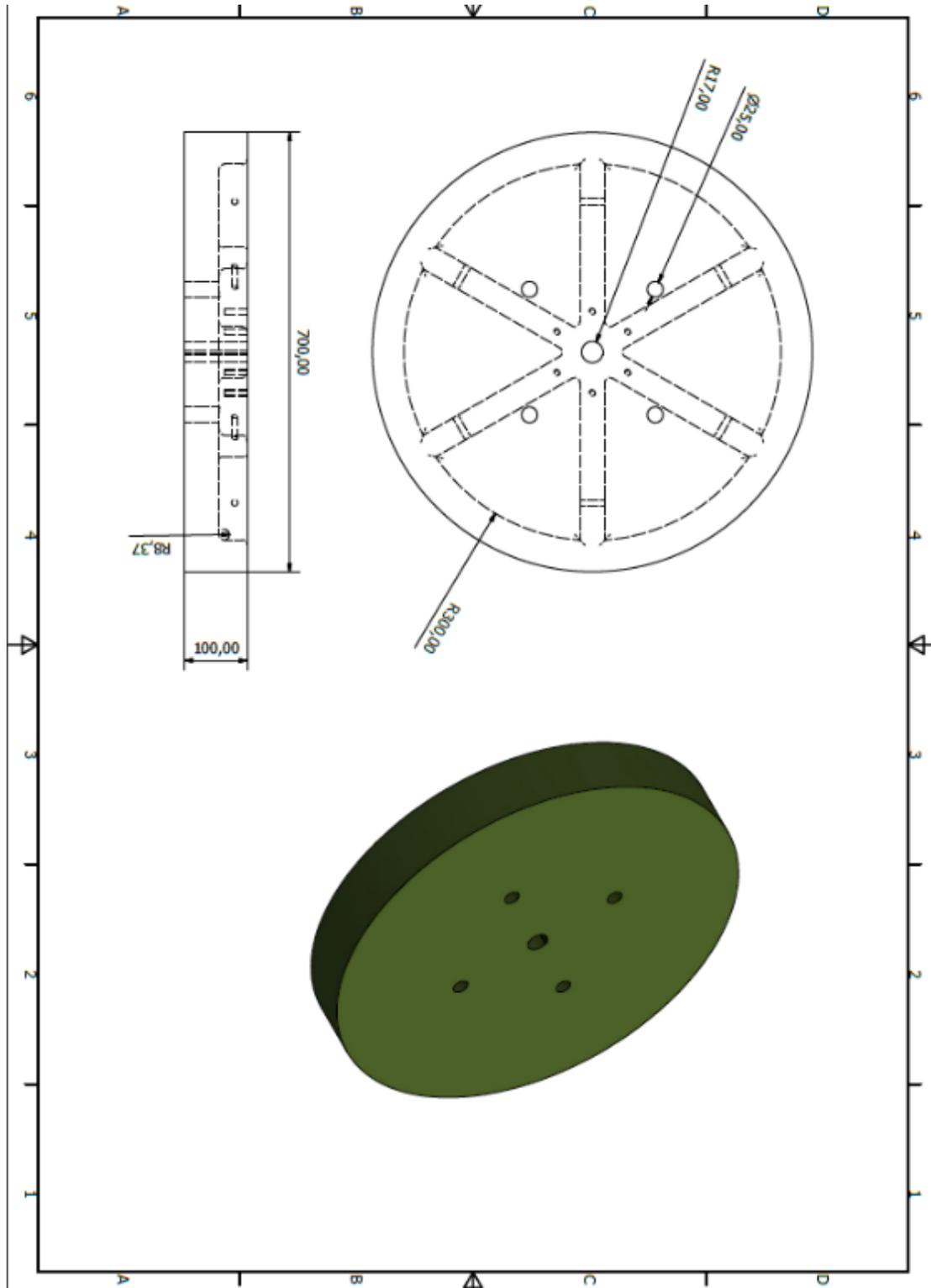
- Andrade Villa, C. (2011). *Simulación dinámica y análisis de tensión*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- Askeland, D. R. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales 3ª Edición*. Colonia Polanco: ITP International Thomson Editores S.A. de C.V.
- Autodesk Inventor. (2015). *Help Autodesk*. Obtenido de <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2015/ESP/>
- El Tiempo. (7 de Octubre de 2014). Proponen pena de 7 años por robo de tapas de alcantarilla. *El Tiempo*, pág. S.P.
- EPM. (16 de Marzo de 2012). *Normas y especificaciones generales de construcción*. Obtenido de <https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/proveedores/cap8.pdf>
- Lizana Marchant, C., & Pérez Moreno, R. (s.f.). *Acomplamientos mecánicos*. Obtenido de Emagister: http://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_44744_44743.pdf
- MATWEB. (S.F). *MATWEB Material Property Data*. Obtenido de <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=e1ccebe90cf94502b35c2a4745f63593>
- Nieto, C., López, R., & Galvis, O. (2013). *Elementos de máquinas*. Bogotá: Sistema biblioteca SENA.
- Portafolio. (10 de Julio de 2014). *Se robaron 151 tapas de alcantarilla en la Autopista sur*. Obtenido de <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/robaron-151-tapas-alcantarilla-autopista-sur-46698>
- Serrano Guzmán, A. P. (4 de Enero de 2014). El robo de alcantarillas en Bogotá crea 2.000 trampas mortales al año. *El tiempo*, pág. S.P.
- Tecnotapa. (S.F de 2012). *Tecnotapa*. Obtenido de <http://tecnotapa.com/web/tecnotapa/>

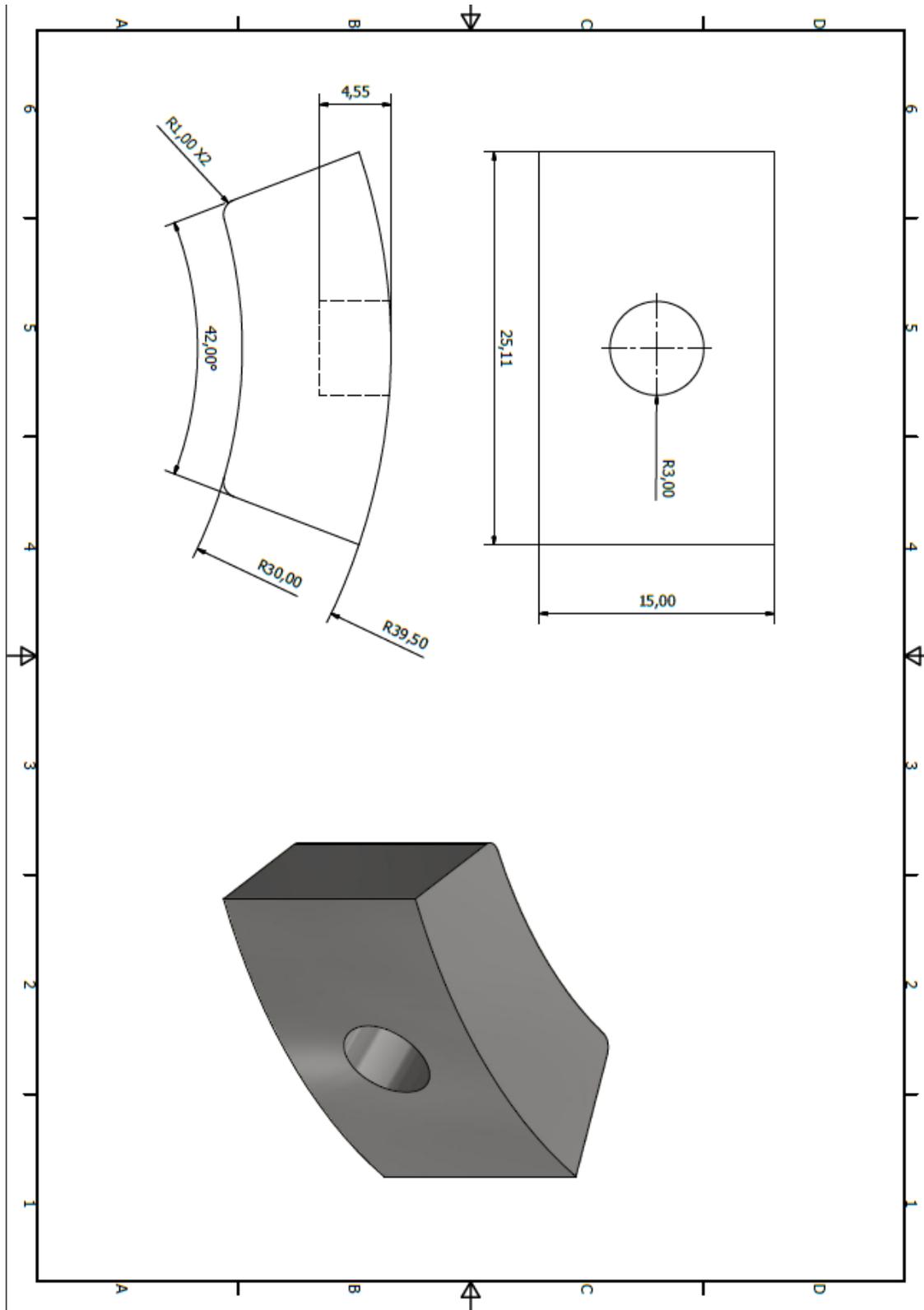
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

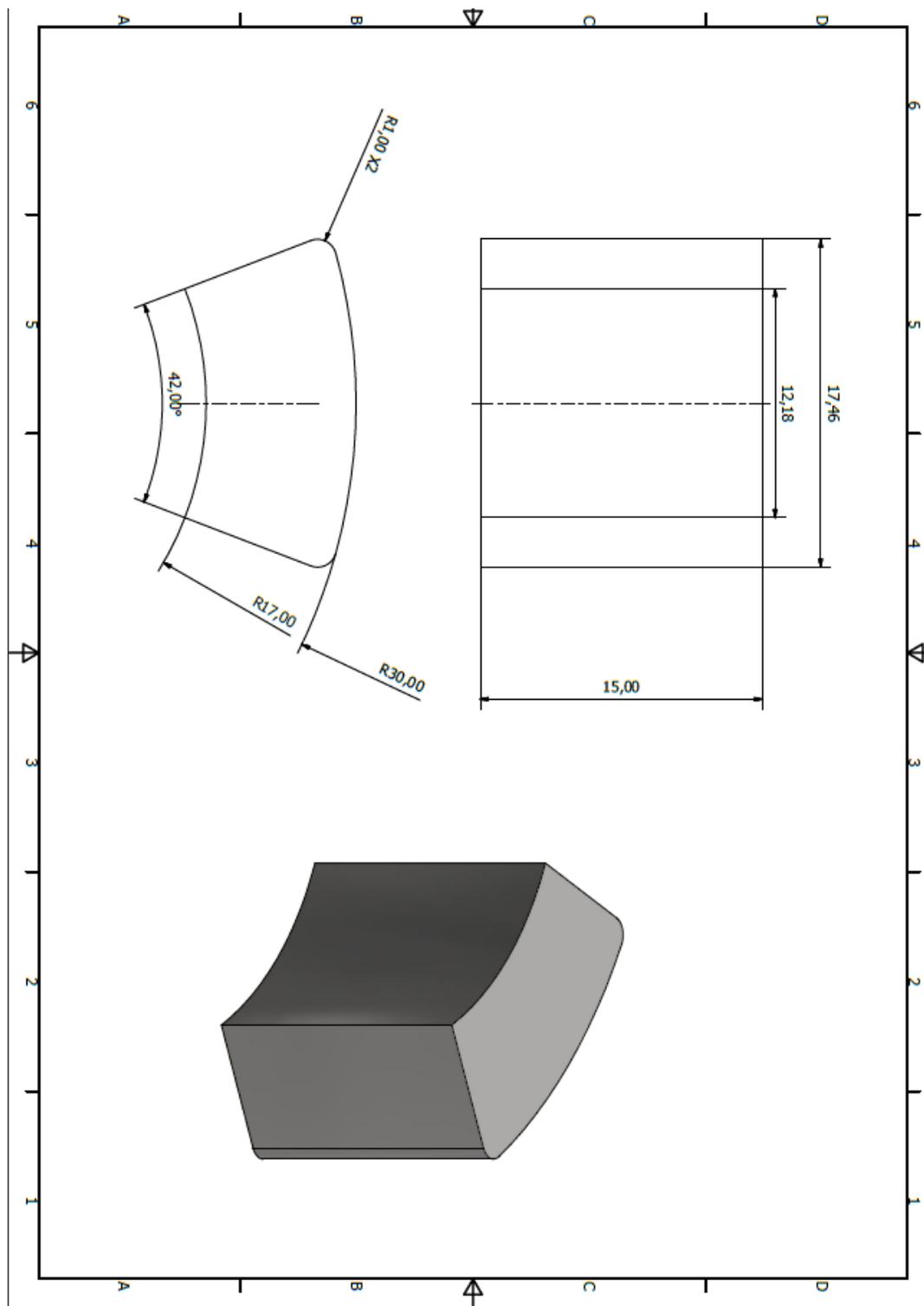
APÉNDICE

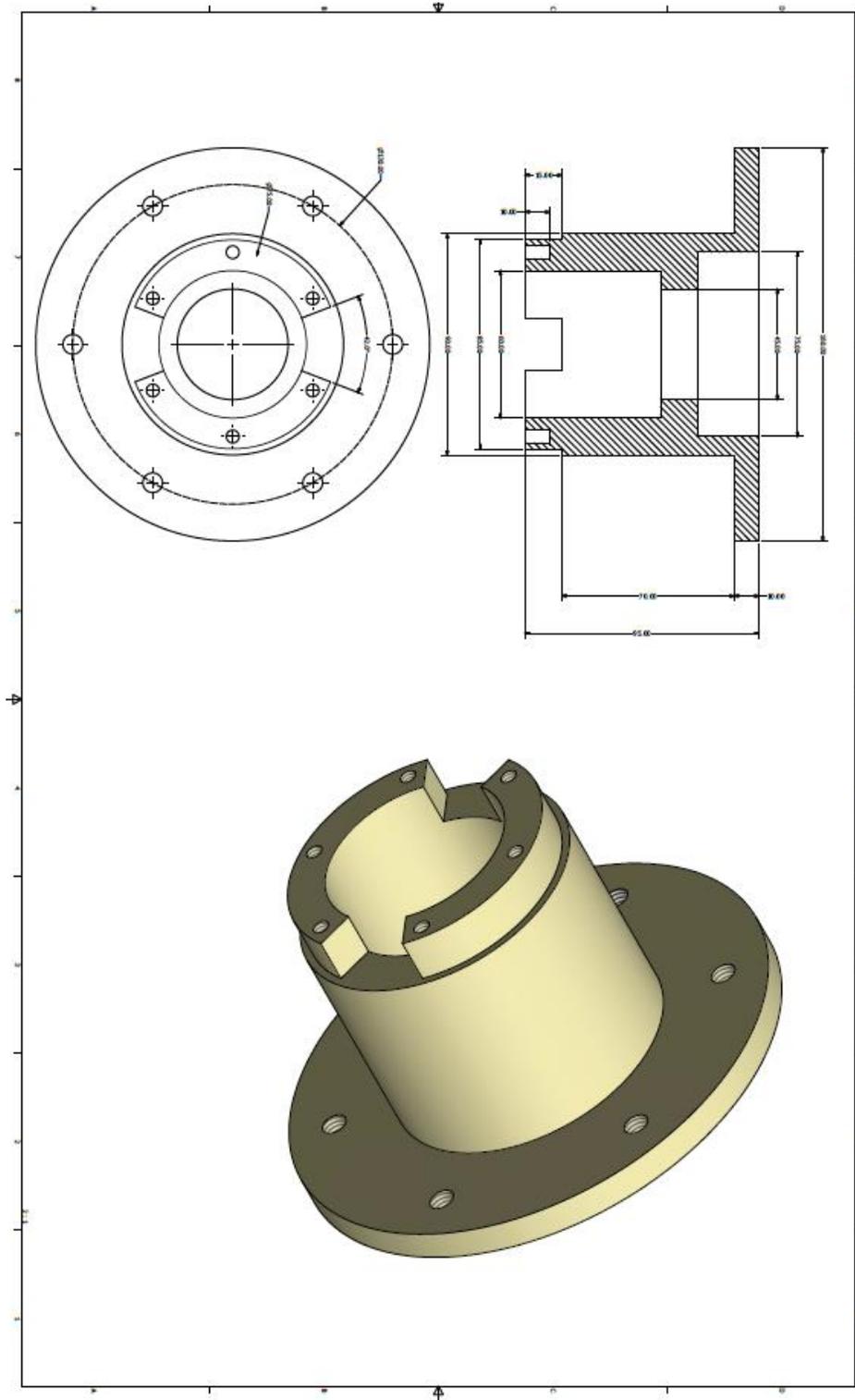
APÉNDICE A

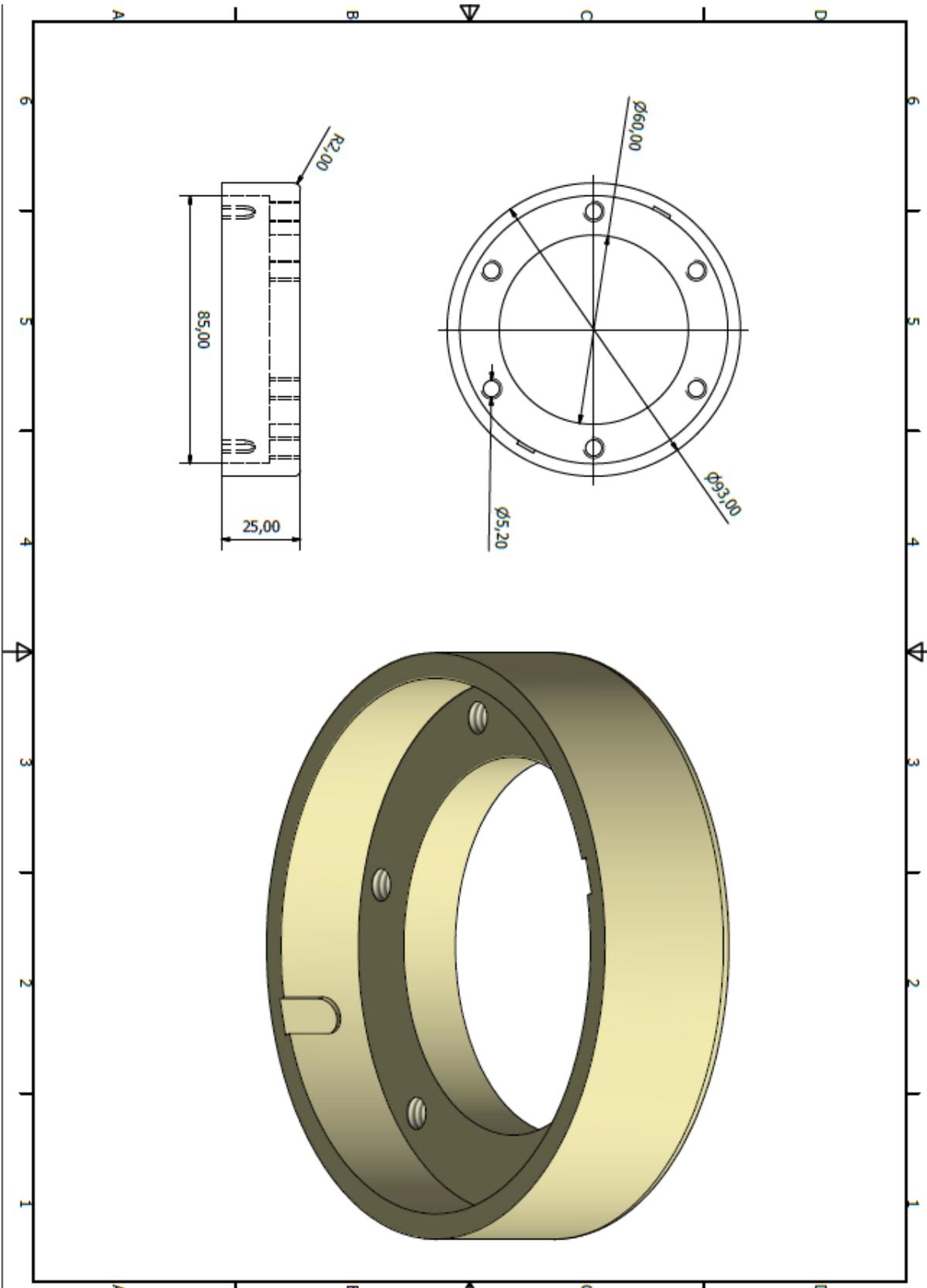
- PLANOS
 1. Tapa polipropileno para cámaras de inspección.
 2. Pin Fijo de sincronización
 3. Pin Móvil de sincronización
 4. Componente Fijo
 5. Tapa de componente fijo
 6. Componente Móvil
 7. Sistema integrado a tapa de cámara de inspección.
 8. Cámara de inspección.

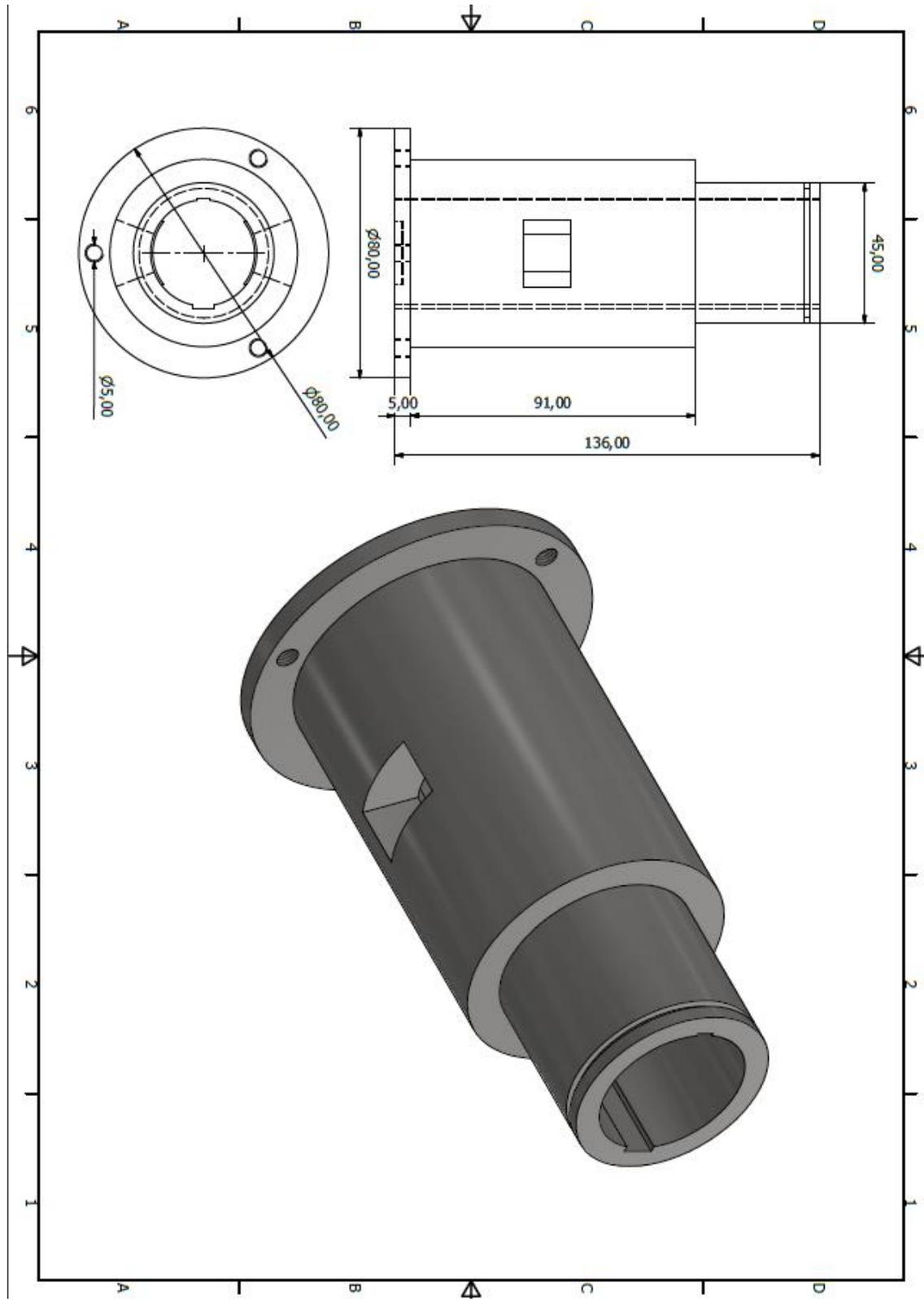


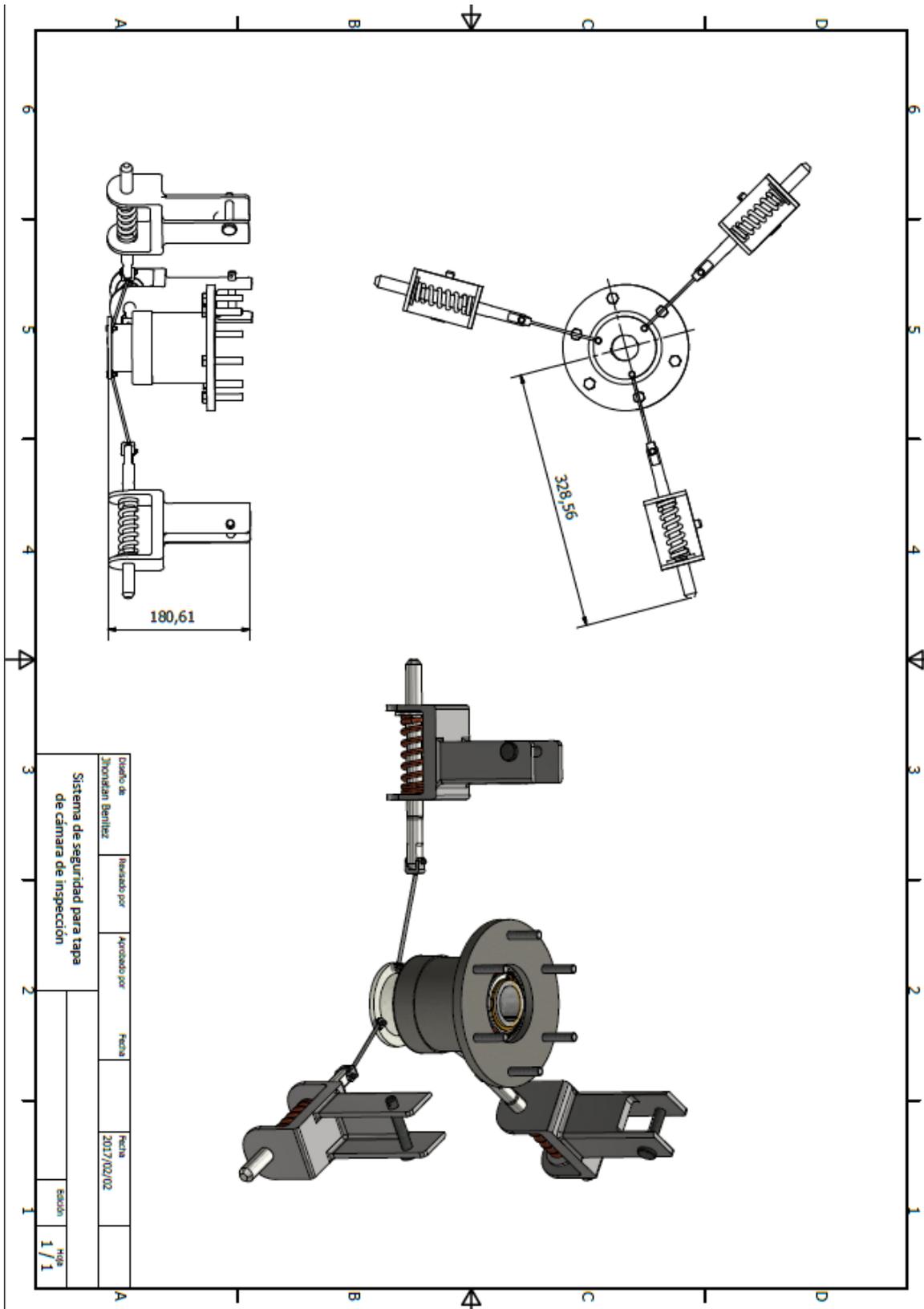


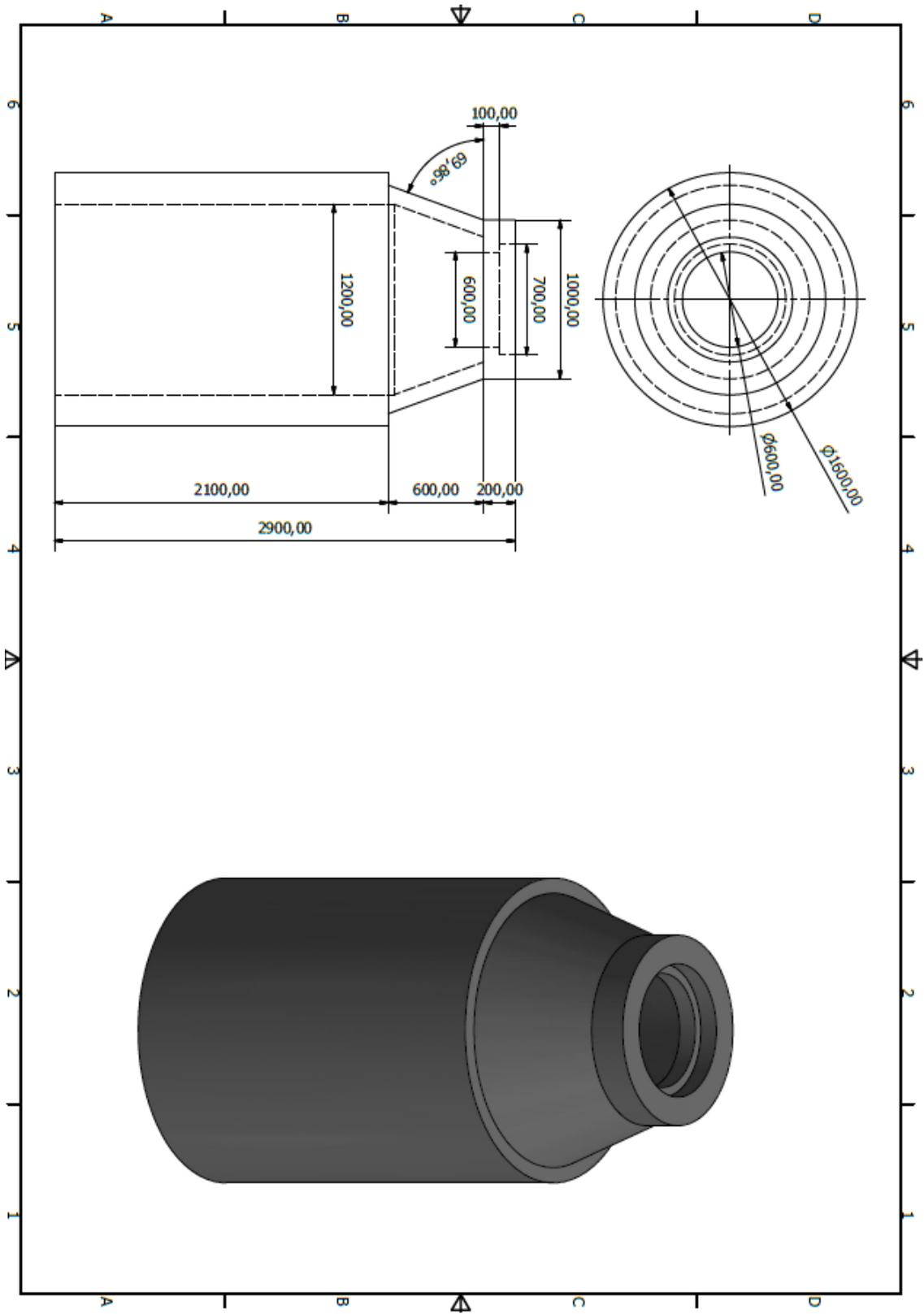












	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Jonathan Benitez R.

Jorge Steele.
 Autorizo primera entrega
 de informe final de trabajo
 de grado.
 02/03/2017 15h00.

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: 02-03-2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____