



Diseño y construcción de prototipo de una cortadora de adoquines

**Harold Camilo Cuaces Ordoñez
Juan Sebastián Luna Angulo**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá, Colombia
2023

Diseño y construcción de prototipo de una cortadora de adoquines

**Harold Camilo Cuaces Ordoñez
Juan Sebastián Luna Angulo**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director (a):

Ingeniero Hugo Ferney Alba Díaz

Línea de Investigación:

Diseño mecánico y ciencia de los materiales.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2023

*Dadme una palanca lo suficientemente larga,
un punto de apoyo y te moveré el mundo.*

Arquímedes.

Agradecimientos

Gracias a mi familia, amigos y profesores que me ayudaron a culminar este paso hacia un futuro brillante en especial a mi madre Jenny Paola Ordoñez y a mi compañero Juan Luna.

Respeto y gracia a quienes en su lucha por mejorar el mundo decidieron invertir en el conocimiento.

Harold Camilo Cuaces Ordoñez

A Juan y María, mis padres, quienes con su esfuerzo, apoyo y consejos me han dado la oportunidad de llegar hasta donde estoy, a Carolina y Estefanía, mis hermanas, que son mi motor y motivación para ser una mejor persona y superarme cada día, a mis amigos y amigas por todos los momentos compartidos de risas, tristezas y juegos, a mi compañero de tesis con quien día a día nos apoyamos para superar todo obstáculo que se nos presentaba y que me enseñó lo importante del trabajo en equipo, a los profesores por enseñarme, instruirme y guiarme para ser un gran profesional, y por ultimo pero no menos importante, quiero agradecerme, quiero agradecerme por creer en mí, quiero agradecerme por no rendirme y darme por vencido, quiero agradecerme por salir y solucionar cada situación en la que he estado, quiero agradecerme por siempre intentar dar más de lo que recibo y quiero darme las gracias por siempre ser yo mismo.

Dedicatoria

A mí mismo, por mi perseverancia y esfuerzo.

Juan Sebastián Luna Angulo

Resumen

El propósito de esta investigación es diseñar y construir una máquina cortadora especializada para adoquines de terracota tipo español con dimensiones aproximadas de 20 cm x 10 cm x 8 cm y una resistencia al corte equivalente a 61 MPa. La capacidad de cortar este material también permite el corte de materiales más pequeños y con menor resistencia al corte. La motivación para este proyecto surge del problema que enfrentan los trabajadores de la construcción vial quienes, en su mayoría, realizan estos cortes utilizando martillos y cinceles, y en menor medida sierras de corte.

El diseño propuesto de la máquina cortadora contempla cortes mecánicos mediante un conjunto de eslabones y levas, así como un sistema hidráulico. A lo largo del desarrollo de este proyecto se llevan a cabo encuestas, ensayos, pruebas, cálculos y ajustes con el objetivo de crear una máquina sencilla, compacta y eficiente.

Para lograr este objetivo, se emplean diversas técnicas y conceptos de ingeniería, como el estudio de elementos finitos, diseño de levas, diseño de mecanismos, selección de materiales y esquemas hidráulicos, entre otros. Este enfoque integral permitió abordar los múltiples desafíos que conlleva la creación de una máquina cortadora de adoquines de terracota tipo español, y al mismo tiempo, optimizar su rendimiento y funcionalidad en diferentes contextos de construcción vial.

Como resultados de este proyecto se presenta un diseño final con cálculos y planos, así como una construcción de un prototipo funcional. Esta máquina herramienta proporciona dos tipos de uso al operario los cuales son: mecánico (donde se aplica una palanca que activa un mecanismo de levas para realizar el corte en adoquines o materiales de construcción livianos) e hidráulico (donde se acciona un gato hidráulico para realizar el corte en materiales o adoquines más pesados que así lo requieran) proveyendo mejoras

en tiempos de corte de adoquines, seguridad para los trabajadores, eficiencia y facilidad de uso. Se confirma que el prototipo construido funciona de manera satisfactoria para el corte de adoquines de 8 cm de alto, 10 cm de ancho y 20 cm de largo, y que la tasa de corte se encuentra dentro de los 4 a 6 adoquines por minuto con el método hidráulico.

Palabras clave: máquina cortadora especializada, adoquines de terracota tipo español, resistencia al corte, trabajadores de la construcción vial, cortes mecánicos, eslabones y levas, sistema hidráulico, estudio de elementos finitos, diseño de levas, diseño de mecanismos, selección de materiales, esquemas hidráulicos, optimización de rendimiento, funcionalidad, contextos de construcción vial.

Abstract

The purpose of this research is to design and build a specialized cutting machine for Spanish-type terracotta pavers with approximate dimensions of 20 cm x 10 cm x 8 cm and a resistance equivalent to 61 MPa. The ability to cut this material also allows for cutting smaller materials with lower resistance. The motivation for this project arises from the problem faced by road construction workers who, for the most part, perform these cuts using hammers and chisels, and to a lesser extent, cutting saws.

The proposed design of the cutting machine contemplates mechanical cuts through a set of links and cams, as well as a hydraulic system. Throughout the development of this project, surveys, trials, tests, calculations, and adjustments are carried out with the aim of creating a simple, compact, and efficient machine.

To achieve this goal, various engineering techniques and concepts are employed, such as the study of finite elements, cam design, mechanism design, material selection, and hydraulic schematics, among others. This comprehensive approach allowed us to address the multiple challenges involved in creating a Spanish-type terracotta paver cutting machine, and at the same time, optimize its performance and functionality in different road construction contexts.

As a result of this project, a final design with calculations and plans is presented, as well as a construction of a functional prototype. This machine tool provides two types of use to the operator which are: mechanical (where a lever is applied that activates a cam mechanism to perform the cut on pavers or lightweight construction materials) and hydraulic (where a hydraulic jack is activated to perform the cut on heavier materials or pavers that require it) providing improvements in paver cutting times, safety for workers, efficiency, and ease of use. It is confirmed that the constructed prototype works satisfactorily for cutting pavers 8 cm high, 10 cm wide, and 20 cm long, and that the cutting rate is within 4 to 6 pavers per minute with the hydraulic method.

Keywords: specialized cutting machine, Spanish-style terracotta paving stones, resistance, road construction workers, mechanical cuts, links and cams, hydraulic system, finite element analysis, cam design, mechanism design, material selection, hydraulic schemes, performance optimization, functionality, road construction contexts.

Contenido

	Pág.
Contenido	
1. Introducción	19
1.1 Planteamiento del Problema	21
1.2 Campo de trabajo o línea de investigación	22
1.3 Objetivo General	22
1.3.1 Objetivos Específicos.....	22
1.4 Justificación.....	23
1.5 Alcance	24
2. Marco referencial.....	24
2.1 Adoquín de terracota del tipo español	24
2.2 Elementos para cortes de adoquines	25
2.3 Requerimientos	26
2.4 Tipo de tecnología que se aplica	27
2.4.1 Análisis de elementos finitos.....	27
2.4.2 Uso de herramienta Solid Works	27
2.5 Disponibilidad de materiales.....	27
2.6 Diseño y desarrollo del producto	28
2.7 Prueba de funcionamiento.....	28
2.8 Ecuaciones.....	28
2.8.1 Fuerza	28
2.8.2 Pitágoras	29
2.8.3 Método polinomial.....	29
2.8.4 Fuerza ajustada.....	30
2.8.5 Ecuación de Gruebler	30
2.8.6 Ley de Hooke	31
2.8.7 Índice de espiras.....	31
2.8.8 Ley de la palanca.....	32
3. Metodología	32
3.1 Recopilación de información	32
3.1.1 Adquisición de muestras para ensayos.....	35
3.2 Selección de información	39
3.2.1 Carga distribuida a carga puntual	40
3.2.2 Cuchilla.....	43
3.2.3 Resultados del estudio de elementos finitos	49
3.3 Diseño del prototipo	50
3.3.1 Propuesta de diseño.....	50
3.3.2 Mecanismo manual.....	51

3.3.3	Sistema hidráulico	56
3.4	Selección de materiales	61
3.4.1	Pasadores	61
3.4.2	Estructura en general	64
3.4.3	Mecanismo	64
3.4.4	Resortes.....	67
3.4.5	Palanca de aplicación.....	71
3.5	Construcción del prototipo	74
3.6	Pruebas y ajustes	82
3.7	Manual de operación del prototipo	87
3.7.1	Identificación de la máquina o prototipo.....	87
3.7.2	Descripción de los componentes	87
3.7.3	Instrucciones de operación.....	87
3.7.4	Procedimientos de seguridad	88
3.7.5	Mantenimiento y solución de problemas.....	88
3.7.6	Actualizaciones continuas	88
4.	Sugerencias	88
5.	Resultados y análisis.....	89
6.	Conclusiones	90
7.	Bibliografía	92
	Bibliografía	92
8.	Anexos.....	93
8.1	Anexo 1 encuestas.....	
8.2	Anexo 2 Planos constructivos.....	
8.3	Anexo 3 elementos finitos.....	
8.3.1	Cuchilla a 25°	
8.3.2	Cuchilla a 45°	
8.3.3	Cuchilla a 60°	
8.3.4	Cuchilla a 90°	

Lista de figuras

	Pág.
Ilustración 1. Ejemplo de adoquín y aplicación. Ficha técnica Ladrillera Santafé Adoquín español tráfico vehicular pesado 01/03/2017.....	19
Ilustración 2. Formato de encuesta. Fuente: Elaboración propia.....	20
Ilustración 3. Corte adoquín con cincel. Fuente: Buckles, R. (2021). How to Lay a Retaining Wall with Concrete Blocks. The Spruce. https://www.thespruce.com/lay-a-retaining-wall-with-blocks-1821048	22
Ilustración 4. Ejemplo de adoquín y aplicación. Ficha técnica Ladrillera Santafé Adoquín español tráfico vehicular pesado 01/03/2017.....	24
Ilustración 5. ¿Qué herramienta de corte utiliza para ajustar adoquines? Fuente: Elaboración propia.....	33
Ilustración 6. ¿Se siente a gusto con su actual herramienta? Fuente: Elaboración propia.....	33
Ilustración 7. Si se le proporciona una herramienta con la mostrada en la imagen ¿la usaría? Fuente: Elaboración propia.....	34
Ilustración 8. Cortador de ladrillos manual (Vevor, n.d.) Fuente: https://www.vevor.es/maquina-para-cortar-ladrillos-c_11185/cortador-de-ladrillos-cortador-de-adoquines-de-bloques-12-6-x-5-5-manual-p_010584571556	34
Ilustración 9. Prueba de corte del adoquín en prensa hidráulica. Fuente: Elaboración propia.....	36
Ilustración 10. Presión de corte en manómetro hidráulico (1072 psi). Fuente: Elaboración propia.....	38
Ilustración 11. Separación de adoquín. Fuente: Elaboración propia.....	39
Ilustración 12. Bosquejo de la prensa usada para el corte. Fuente: Elaboración propia.....	40
Ilustración 13. Diagrama de cuerpo libre. Fuente: Elaboración propia.....	41
Ilustración 14. Elementos relevantes. Fuente: Elaboración propia.....	44
Ilustración 15. Áreas de contacto. Fuente: Elaboración propia.....	45
Ilustración 16. Sujeciones. Fuente: Elaboración propia.....	46
Ilustración 17. Malla de nodos. Fuente: Elaboración propia.....	47
Ilustración 18. Esfuerzos máximos y mínimos. Fuente: elaboración propia.....	48
Ilustración 19. Distribución de cargas. Fuente: Elaboración propia.....	50
Ilustración 20. Leva diseñada y seguidor. Fuente: Elaboración propia.....	52
Ilustración 21. Datos tiempo vs posición angular. Fuente: Elaboración propia.....	55
Ilustración 22. Gráfica de la leva. Fuente: Elaboración propia.....	55

Ilustración 23. Bosquejo de cilindro en AUTOMATION STUDIO. Fuente: Elaboración propia.....	57
Ilustración 24. Áreas del cilindro simple efecto. Fuente: Elaboración propia.	58
Ilustración 25. Diagrama multiplicador de fuerza. Fuente: Elaboración propia.....	60
Ilustración 26. Pasadores Fuente: Elaboración propia.	62
Ilustración 27. Mecanismo de cuatro barras Fuente: Elaboración propia.	65
Ilustración 28. Relación de colores en el mecanismo. Fuente: Elaboración propia.....	66
Ilustración 29. Resortes del mecanismo. Fuente: Elaboración propia.....	67
Ilustración 30. Datos generados por SolidWorks. Fuente: Elaboración propia.....	68
Ilustración 31. Elementos para medición de masa. Fuente: Elaboración propia.....	69
Ilustración 32. Fuerza generada por la mano no dominante de varios sujetos. Fuente: Elaboración propia.	72
Ilustración 33. Longitud desconocida. Fuente: Elaboración propia.....	73
Ilustración 34. Cotización hidro s.a.s. Fuente: Propia	75
Ilustración 35. Cotización Mj soluciones y mantenimientos hidráulicos s.a.s. Fuente: Propia	76
Ilustración 36. Cotización aceros Procesados ortega soluciones industriales Ltda. Fuente: Propia	77
Ilustración 37. Cotización fw suministros oleohidráulicos s.a.s. Fuente: propia	77
Ilustración 38. Mecanizado de cuchilla y soportes. Fuente: Elaboración propia.	78
Ilustración 39. Mecanizado y aplicación de cordón de soldadura base del adoquín. Fuente: Elaboración propia.	79
Ilustración 40. Instalación del sistema hidráulico. Fuente: Elaboración propia.....	79
Ilustración 41. Ensamble final y pintura. Fuente: Elaboración propia.....	80
Ilustración 42. Prueba del prototipo en un ambiente real. Fuente: Elaboración propia.	81
Ilustración 43. Resultado de la prueba del prototipo en un ambiente real. Fuente: Elaboración propia.	82
Ilustración 44. Corte del adoquín de terracota español para tráfico pesado. Fuente: Elaboración propia.	83
Ilustración 45. Medición de fuerza. Fuente: Elaboración propia.....	84
Ilustración 46. Geometría de corte. Fuente: Elaboración propia	85
Ilustración 47. Prueba de uso. Fuente: Elaboración propia	86

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Propiedades del adoquín.</i> Fuente: Ladrillera Santafé 2017. FT-ADESP8-TP. https://www.santafe.com.co/wp-content/uploads/2021/11/FT-ADESP8-TP.pdf	25
Tabla 2. <i>Iteración de roturas en adoquines.</i> Fuente: Elaboración propia.	37
Tabla 3. <i>Propiedades del material AISI 1045.</i> Fuente: Los datos de diseño se extrajeron utilizando SolidWorks 2020 (Dassault Systèmes, 2020).	43
Tabla 4. <i>Resultados del estudio de elementos finitos.</i> Fuente: Elaboración propia	49

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
F	Fuerza	N	Ecuación 1
P	Presión utilizada	Pa	Ecuación 1
a, b	Incógnitas		Ecuación 2
n	Grado de polinomio		Ecuación 3
C_n	Coeficientes polinomiales		Ecuación 3
s	Posición angular de la leva	rad	Ecuación 3
v	velocidad	m/s	Ecuación 3
M	Grado de libertad		Ecuación 7
L	Número de eslabones		Ecuación 7
J	Número de juntas		Ecuación 7
G	Número de eslabones a tierra		Ecuación 7
k	Constante de Hooke	N/m	Ecuación 8
x	Desplazamiento	m	Ecuación 8
D	Diámetro interno	m	Ecuación 9
De	Diámetro externo	m	Ecuación 9
d	Diámetro de alambre		Ecuación 9
C	Índice de espiras		Ecuación 9
$L1$	Longitud 1		Ecuación 10
$L2$	Longitud 2		Ecuación 10

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
θ	Posición angular	rad	Ecuación 3
β	Longitud de segmento	mm	Ecuación 3

1. Introducción

El adoquín, es un material cerámico cuyo origen aún permanece incierto, ha sido empleado en la construcción de caminos desde hace más de 2000 años. Su uso en aquel entonces permitía un flujo de circulación más elevado para el comercio y una durabilidad notablemente superior a la de los caminos de tierra. Los adoquines se caracterizan por su versatilidad y sus múltiples aplicaciones, tanto en obras civiles como en decoración. (Jara, n.d.) Entre sus usos más comunes se encuentran la construcción de carreteras rurales y caminos peatonales en ciudades, además de su notable presencia en la decoración de ciudades como Bogotá, Colombia.

El material seleccionado para la fabricación del adoquín es la terracota, debido a su abundancia en Bogotá y sus alrededores. Las dimensiones típicas de un adoquín son 8 cm de alto, 10 cm de ancho y 20 cm de largo. Este tipo de adoquín se utiliza comúnmente en caminos que soportan tráfico pesado de hasta 8 toneladas. (Ladrillera Santafé, 2017) Existen diversas técnicas de instalación, siendo una de las más conocidas la disposición en forma de espina de pez, como se puede apreciar en la ilustración 1.

Aplicación



Aparejo Espina de Pez

Ilustración 1. **Ejemplo de adoquín y aplicación.** Ficha técnica Ladrillera Santafé Adoquín español tráfico vehicular pesado 01/03/2017.

El presente proyecto se centra en su adaptabilidad a diversas aplicaciones, ya que la versatilidad constituye un aspecto clave del mismo. El proyecto surge como respuesta a la necesidad de realizar cortes precisos y eficientes en adoquines, al mismo tiempo que se garantiza la seguridad del operario y se minimizan los costos asociados a la indumentaria.

Se realizaron encuestas (ver anexo 1) a obreros en una construcción vial (ilustración 2). Los cuales en su gran mayoría desconocían una herramienta específicamente diseñada para facilitar el trabajo a la hora de realizar cortes en adoquines, y añadieron un interés notable en la ilustración 2. que mostraba como es la máquina y como les facilita no solo el trabajo y transporte, sino que se ayuda en problemas de seguridad como son los impactos en el cuerpo por un objeto contundente como un martillo, al igual que el riesgo de una laceración por el uso de una sierra de corte eléctrica y el polvo que produce.

La máquina tiene como objetivo de diseño ser lo suficientemente robusta para lograr los cortes con fiabilidad, precisión, rapidez y seguridad, al igual que un elemento característico que la diferencie de las ya existentes en el mercado internacional como lo es un sistema hidráulico pensado para trabajos pesados.

El tema de investigación refiere el "Diseño y construcción de prototipo de una cortadora de adoquines."

 Una Universidad con Presencia Nacional y Vocación Regional	 Una Universidad con Presencia Nacional y Vocación Regional
<p align="center"> UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA </p> <p> NOMBRE: _____ GENERO: F: ___ M: ___ </p> <p> N. DE IDENTIFICACIÓN: _____ </p> <p> <small>OBJETIVO: Establecer el diagnostico de aquellas herramientas de cortes implementadas en la fase de acabados superficiales en el sector de construcción civil en Bogotá D.C.</small> </p> <hr/> <p align="center"> ENCUESTA DIRIGIDA AL PERSONAL QUE REALIZA EL CORTE DE ADOQUINES </p> <p>1. ¿Qué cargo desempeña?</p> <p>_____</p> <p>2. ¿Qué herramienta de corte utiliza actualmente para ajustar adoquines?</p> <p>a. Cincel y martillo.</p> <p>b. Pulidora o tierra de corte</p> <p>c. Una máquina diseñada para hacer estos cortes</p> <p>d. Otra (especifique) : _____</p>	<p>3. ¿Se siente a gusto con su actual herramienta de corte? (Velocidad de corte, seguridad a la hora de cortar, ...)</p> <p>a. Si.</p> <p>b. No.</p> <p>c. Puede mejorar (¿cómo?) : _____</p> <p>4. ¿Si se le proporciona una herramienta de corte como la mostrada en la imagen la usaría?</p> <div align="center">  </div> <p>a. Si. (Por qué) : _____</p> <p>b. No. (Por qué) : _____</p>
<small>Calle 58 a bta No. 37 - 84 Sede Fiedermán Línea Gratuita Nacional: 01 8000 123 060 Línea en Bogotá: 315 2980 www.uan.edu.co</small>	<small>Calle 58 a bta No. 37 - 84 Sede Fiedermán Línea Gratuita Nacional: 01 8000 123 060 Línea en Bogotá: 315 2980 www.uan.edu.co</small>

Ilustración 2. **Formato de encuesta.** Fuente: Elaboración propia.

1.1 Planteamiento del Problema

El sector de la construcción civil en Colombia, en el ámbito de las vías públicas, requiere entregar un acabado superficial, generalmente realizado con adoquines. Esto se conoce como "fase 6 – acabados y cierres" (Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2013)). Los trabajadores de estas obras suelen colocar los adoquines en espacios confinados, realizando cortes para ajustar el ancho o largo a las medidas de los bordes o curvaturas de las vías peatonales. Este tipo de ajuste se lleva a cabo con herramientas como martillo y cincel. El problema radica en el tiempo y la calidad del acabado, que resulta de no utilizar herramientas de precisión, así como en la salud del operario, quien debe martillar repetidamente, exponiendo sus manos a lesiones graves.

¿Por qué implementar esta máquina? La implementación de esta máquina ofrece varias ventajas en comparación con el uso de herramientas convencionales, tales como: facilidad de uso y seguridad, al no exponer directamente las manos o alguna parte del cuerpo del trabajador. La portabilidad de la máquina permite su colocación en una amplia variedad de terrenos, ya que no requiere de una fuente de alimentación eléctrica o combustible, debido a que es mecánica.



Ilustración 3. **Corte adoquín con cincel.** Fuente: Buckles, R. (2021). How to Lay a Retaining Wall with Concrete Blocks. The Spruce. <https://www.thespruce.com/lay-a-retaining-wall-with-blocks-1821048>

1.2 Campo de trabajo o línea de investigación

Diseño mecánico y ciencia de los materiales.

1.3 Objetivo General

Diseñar y simular un prototipo de máquina cortadora de adoquines hidráulica-mecánica, para las pequeñas y medianas empresas constructoras.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Diseñar una máquina cortadora de adoquines.
- Construir un prototipo de máquina cortadora de adoquines.
- Realizar pruebas del prototipo en un ambiente real.
- Realizar un manual de operación y mantenimiento del prototipo.

1.4 Justificación

La cortadora de adoquines mecánica e hidráulica es una solución bastante específica, considerando que en ciertas obras no se dispone de conexiones eléctricas para realizar el corte con sierras eléctricas. Además, los sectores administrativos suelen evitar el uso de estas máquinas debido a su costo y facilidad para ser hurtadas. El empleo de herramientas de corte convencionales, como el martillo y cincel, hace que el trabajo sea demorado y poco preciso, además de las lesiones que se pueden generar. La cortadora de adoquines tiene como objetivo solucionar estos problemas, comenzando por el hecho de que no requiere alimentación eléctrica y se opera únicamente de forma manual.

Su facilidad de uso posibilita que sea operada por un solo trabajador, quien no requiere de una capacitación extensa debido a la simplicidad del diseño. El uso o aplicación de esta máquina se centra en proteger la integridad del operario y de quienes lo rodean. La velocidad de corte, en comparación con la sierra y el cincel, es bastante favorable, logrando cortar una cantidad de 4 a 6 adoquines de tráfico pesado cortados por minuto. El mantenimiento de la máquina consiste en el intercambio de la hoja de corte y limpiezas superficiales, permitiendo así una gran durabilidad.

Existen cortadoras de adoquines en el mercado, pero su adquisición se dificulta debido al costo y proceso de importación. Además, no cuentan con un sistema hidráulico para cortes pesados. Al realizar las encuestas en una obra, se logra demostrar la inconformidad de los operarios y obreros con sus actuales herramientas de corte, así como el interés por una máquina que les facilite el trabajo, lo cual se puede observar en el anexo 1.

La originalidad del proyecto se basa en su innovación e implementación de una tecnología que no se ha visto en el mercado. Un mecanismo manual e hidráulico es la innovación del proyecto, debido a que la oferta en el mercado solo ofrece sistemas manuales mecánicos para el corte de estos adoquines, y ninguna de estas máquinas está calificada para cortes pesados como los adoquines de tráfico pesado y sardineles.

1.5 Alcance

Diseñar y construir un prototipo de cortadora de adoquines para un adoquín de terracota del tipo español con pruebas reales sobre este mismo tipo de adoquín, con unas dimensiones de 8 cm de alto, 10 cm de ancho y 20 cm de largo. ((Ladrillera Santafé, 2017))

2. Marco referencial

2.1 Adoquín de terracota del tipo español

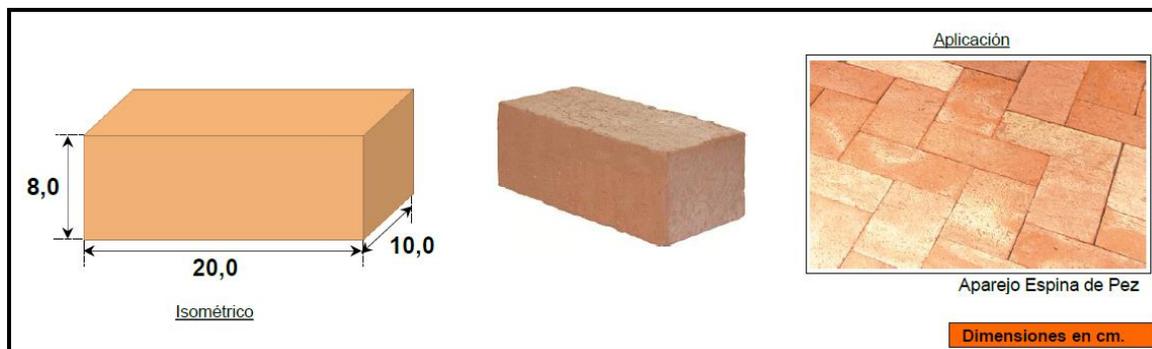


Ilustración 4. **Ejemplo de adoquín y aplicación.** Ficha técnica Ladrillera Santafé Adoquín español tráfico vehicular pesado 01/03/2017.

El adoquín es un elemento de construcción ampliamente utilizado, con aplicaciones muy útiles en el mercado. El adoquín de terracota del tipo Español es un producto fabricado en Colombia por la empresa **LADRILLERA SANTAFÉ S.A.**, que cumple con las normas técnicas ICONTEC, como la NTC 5282 y NTC 4017. Posee un peso de 3.4 kg por unidad y una resistencia a la rotura de 9 MPa. Este tipo de adoquín está destinado al tráfico pesado vehicular, ya que cuenta con una resistencia bastante alta la cual puede soportar el paso de vehículos de 3 ejes de carga o más (equivalente a 8.1 toneladas). (Ladrillera Santafé, 2017)

El adoquín utilizado para las pruebas es el mencionado adoquín de terracota del tipo español para tráfico pesado, que cuenta con unas dimensiones lo suficientemente grandes como para abarcar todo el espectro de medidas en adoquines comerciales. Todos sus datos técnicos fueron necesarios para realizar pruebas mediante computación asistida. Estos datos son:

Propiedad	Valor/rango	Unidad
Módulo elástico	646 - 1458	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.10 - 0.15	(adimensional)
Módulo cortante	457.3913	N/mm ²
Densidad de masa	2312.5	kg/m ³
Límite de tracción	2.827 - 2.813	N/mm ²
Límite de compresión	0.8 - 2.4	MPa
Límite elástico	3.7	MPa

Tabla 1. **Propiedades del adoquín.** Fuente: Ladrillera Santafé 2017. FT-ADESP8-TP. <https://www.santafe.com.co/wp-content/uploads/2021/11/FT-ADESP8-TP.pdf>

2.2 Elementos para cortes de adoquines

Existen elementos en el mercado que ofrecen la capacidad de cortar adoquines entre otros materiales. No obstante, estas herramientas multifuncionales no están diseñadas específicamente para llevar a cabo esta tarea de manera óptima. El cincel y martillo es el instrumento más común en obras debido a su portabilidad y sencillez en el manejo. Esta herramienta se basa en el impacto de una barra de metal con un objeto contundente, aplicando fuerza en un punto de apoyo diminuto para efectuar cortes. Sin embargo, con cada golpe, esta herramienta daña las manos del operario y existe la posibilidad de golpear un dedo o alguna parte del cuerpo.

Por otro lado, la sierra eléctrica es un instrumento común en obras, que proporciona cortes precisos y de alta calidad. A pesar de ello, esta herramienta puede resultar costosa, tanto en su adquisición como en la compra de cuchillas de repuesto. Además, para su funcionamiento es necesario contar con una fuente de alimentación eléctrica, lo que implica mayores gastos. El polvo que se desprende de los materiales también puede afectar el sistema respiratorio de los trabajadores cercanos a la sierra. Asimismo, existe un riesgo de lesiones si no se utiliza de manera adecuada.

2.3 Requerimientos

Se necesita un dispositivo versátil, compacto y eficaz que realice sin dificultad el proceso de corte en materiales como los adoquines de terracota tipo español. El equipo debe soportar la aplicación de fuerzas sin deformarse y contar con una duración adecuada para satisfacer las demandas de uno o varios proyectos viales. Además, la hoja de corte debe resistir el desgaste constante y fatiga a la que está sometida, así como tener tratamientos anticorrosivos para enfrentar las condiciones ambientales presentes en el lugar de trabajo. La rapidez en el corte también es un aspecto crucial ya que se busca reducir el tiempo necesario para llevar a cabo dicha tarea, siendo más eficiente que un cincel o una sierra cortadora.

El corte debe seguir un patrón específico sin fracturar ni comprometer la integridad estructural del material, evitando así el desprendimiento o el desperdicio de materiales al no cumplir con las dimensiones requeridas.

Los componentes del dispositivo deben ser de materiales comerciales para facilitar su adquisición y manejo, como pernos, tuercas y tornillos.

2.4 Tipo de tecnología que se aplica

El tipo de estudios de diseño que se realiza se basa en los requerimientos y los métodos incluyen diseños de computación asistida en software como SolidWorks. Se hace uso de fichas técnicas que especifican las resistencias de los materiales y además se efectúan pruebas de campo para determinar qué tan cercanos a la realidad son estos valores.

2.4.1 Análisis de elementos finitos

El análisis de elementos finitos (FEA) es un enfoque de simulación numérica empleado para examinar y solucionar problemas científicos y de ingeniería complejos. Habitualmente este análisis se aplica para dividir un objeto o sistema en componentes pequeños (elementos) que pueden ser evaluados matemáticamente. Cada elemento se estudia de manera individual y luego se integra para conformar un modelo completo del objeto o sistema. Este método se emplea para valorar el comportamiento de estructuras y sistemas bajo distintas condiciones, como fuerzas externas, cargas, temperaturas y presiones. El propósito principal del análisis de elementos finitos es establecer las características y el comportamiento de las estructuras y sistemas en base a sus propiedades físicas y geométricas, lo que puede asistir a ingenieros y científicos en el diseño y optimización. (Zienkiewicz, 2005)

2.4.2 Uso de herramienta Solid Works

En el software de Solid Works se hace uso de manera intuitiva de la herramienta de estudios de elementos finitos, la cual toma los datos característicos del material de la cuchilla como del adoquín y demás componentes esenciales de la máquina. Debido a que dichos valores característicos son necesarios para darle al software una guía acerca de cómo se comportan los materiales.

2.5 Disponibilidad de materiales

Los materiales que se aplican se calculan primeramente y luego se seleccionan, lo que indica el material de trabajo más apropiado. Posteriormente, se consultan catálogos de

materiales comerciales disponibles en la localización, con el objetivo de evitar desgastes administrativos en la búsqueda de piezas complicadas de manufacturar.

2.6 Diseño y desarrollo del producto

El diseño se fundamenta en un bosquejo que brinda óptimas posibilidades en términos de portabilidad, tamaño y funcionalidad, en función de los requisitos establecidos. Las piezas se diseñaron de forma individual, considerando los cálculos efectuados. Estos valores son de gran utilidad para identificar las dimensiones adecuadas y los materiales cuyas propiedades faciliten la construcción.

2.7 Prueba de funcionamiento

Para comprobar el correcto funcionamiento del prototipo, se realizan pruebas asistidas por software en primer lugar. Estas pruebas sirven para comparar los requerimientos básicos de operación con los obtenidos después de la construcción. De esta manera, se determina si el prototipo cumple con los estándares de calidad y desempeño esperados.

2.8 Ecuaciones

2.8.1 Fuerza

La fórmula establece que la fuerza aplicada (F) es igual al producto de la presión o tensión (P) y el área (A) sobre la que se aplica la fuerza. Esta ecuación es esencial en el análisis de la tensión en materiales sometidos a cargas externas, y se utiliza ampliamente en la ingeniería y el diseño de componentes estructurales para garantizar su resistencia y estabilidad. (Hibbeler, 2017).

$$F = P * A \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

F : Fuerza expresada en lb.

P : Presión utilizada en psi.

A : Área en pulgadas cuadradas.

2.8.2 Pitágoras

Pitágoras es una ecuación fundamental en geometría que se aplica a los triángulos rectángulos. Establece que, en un triángulo rectángulo el cuadrado de la longitud de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de las longitudes de los otros dos lados, llamados catetos. (Pedoe, 1988)

$$F^2 = a^2 + b^2 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

$F =$ longitud de la hipotenusa

$a, b =$ Longitud de catetos

2.8.3 Método polinomial

El método polinomial es un enfoque utilizado para diseñar levas, especialmente en la fase de diseño de la ley del movimiento del seguidor de leva. El objetivo principal de este método es generar una función de posición, velocidad y aceleración del seguidor de leva que cumpla con los requisitos específicos del sistema mecánico y minimice el desgaste y las vibraciones.

El diseño de levas mediante el método polinomial implica los siguientes pasos:

- ✚ Definir los intervalos de tiempo y los requisitos de posición, velocidad y aceleración del seguidor de leva para cada intervalo.
- ✚ Seleccionar polinomios (funciones matemáticas) que describan el movimiento del seguidor de leva durante cada intervalo de tiempo.
- ✚ Ajustar los coeficientes de los polinomios de modo que las funciones de posición, velocidad y aceleración del seguidor de leva sean continuas en todo el rango de movimiento.
- ✚ Verificar que las funciones de posición, velocidad y aceleración resultantes cumplan con los requisitos del diseño.

(Norton, 2010)

$$s = C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 + C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^6 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Derivando la ecuación 3 en función del tiempo.

$$v = C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + 6C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Derivando la ecuación 4 para hallar aceleración.

$$a = 2C_2 + 6C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 30C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

n = Grado de polinomio.

θ = Posición angular de la leva.

β = Longitud de segmento.

C_n = Coeficientes polinomiales.

s = Posición.

v = Velocidad.

a = Aceleración.

2.8.4 Fuerza ajustada

La "fuerza ajustada" es un término utilizado para describir la fuerza máxima que se espera que un componente experimente durante su operación, multiplicada por un factor de seguridad. El factor de seguridad es un número mayor que uno, que se utiliza para garantizar que el diseño sea lo suficientemente fuerte como para soportar cargas imprevistas o condiciones extremas que puedan ocurrir durante su vida útil. (Beer, F. P, Johnston, E. R, DeWolf, J. T, & Mazurek, D. F, 2015)

$$\text{Fuerza ajustada} = \text{Fuerza máxima} * \text{Factor de seguridad} \quad (\text{Ecuación 6})$$

2.8.5 Ecuación de Gruebler

La ecuación de Gruebler también conocida como la fórmula de movilidad de Gruebler, es una ecuación utilizada en la teoría de mecanismos para calcular la movilidad (grados de

libertad) de un mecanismo planar. La movilidad de un mecanismo es el número de parámetros independientes que deben ser especificados para describir completamente la posición de todos sus elementos en un instante dado. (Uicker, 2011)

$$M = 3L - 2J - 3G \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

M = Grado de libertad o movilidad.

L = Número de eslabones.

J = Número de juntas.

G = Número de eslabones conectados a tierra.

2.8.6 Ley de Hooke

La Ley de Hooke es una ley fundamental en la mecánica de materiales que establece la relación entre la fuerza aplicada a un resorte y la deformación que experimenta. La Ley de Hooke se aplica a materiales elásticos que regresan a su forma original después de que se retira la fuerza aplicada. La ley se puede expresar matemáticamente:

$$F = -k * x \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

F: Fuerza ejercida por el resorte.

k: Constante elástica del resorte.

x: Desplazamiento o deformación.

El signo negativo indica que la fuerza es opuesta a la dirección del desplazamiento. (Beer, F. P, Johnston, E. R, DeWolf, J. T, & Mazurek, D. F, 2015)

2.8.7 Índice de espiras

El índice de espiras se refiere a la cantidad de vueltas que tiene un resorte helicoidal en relación con su longitud. Este índice es importante para entender el comportamiento mecánico de un resorte y cómo se deforma bajo carga.

El índice de espiras se calcula dividiendo la longitud activa del resorte (la longitud del resorte cuando no está sometido a carga) entre el número de espiras en el resorte. A

medida que el índice de espiras aumenta, el resorte se vuelve más flexible y su rigidez disminuye. Por lo tanto, el índice de espiras es un parámetro crucial en el diseño de resortes para cumplir con los requisitos específicos de una aplicación. (Shigley, 2006)

$$C = \frac{(De - D)}{d} \text{ Ecuación (9)}$$

Donde:

$$C = (\text{índice de espiras})$$

$$d = (\text{diámetro del alambre})$$

$$D = (\text{diámetro interno, dado por el eje})$$

$$De = (\text{diámetro externo máximo permitido})$$

2.8.8 Ley de la palanca

La ley de la palanca establece que, en un sistema de palancas en equilibrio, el producto de la fuerza aplicada (F1) y la distancia desde el punto de apoyo hasta el punto donde se aplica la fuerza (L1) es igual al producto de la fuerza de reacción (F2) y la distancia desde el punto de apoyo hasta el punto donde actúa la fuerza de reacción (L2).

$$F1 * L1 = F2 * L2 \text{ Ecuación (10)}$$

3. Metodología

El plan de la metodología es dividido en seis puntos principales, los cuales son:

3.1 Recopilación de información

Para llevar a cabo este proyecto fue necesario realizar una investigación previa para evaluar la magnitud del problema y la viabilidad de la solución propuesta, que consiste en la construcción de una máquina cortadora de adoquines. Con el objetivo de obtener un

conocimiento básico sobre la función que debe cumplir la máquina, se realizaron encuestas a trabajadores de construcción vial. A partir de los resultados obtenidos, se pudieron establecer los requisitos fundamentales para diseñar un modelo de trabajo eficaz y realista que resuelva los problemas presentes en las obras viales. Los detalles sobre la realización de dichas encuestas se encuentran en el anexo 1.

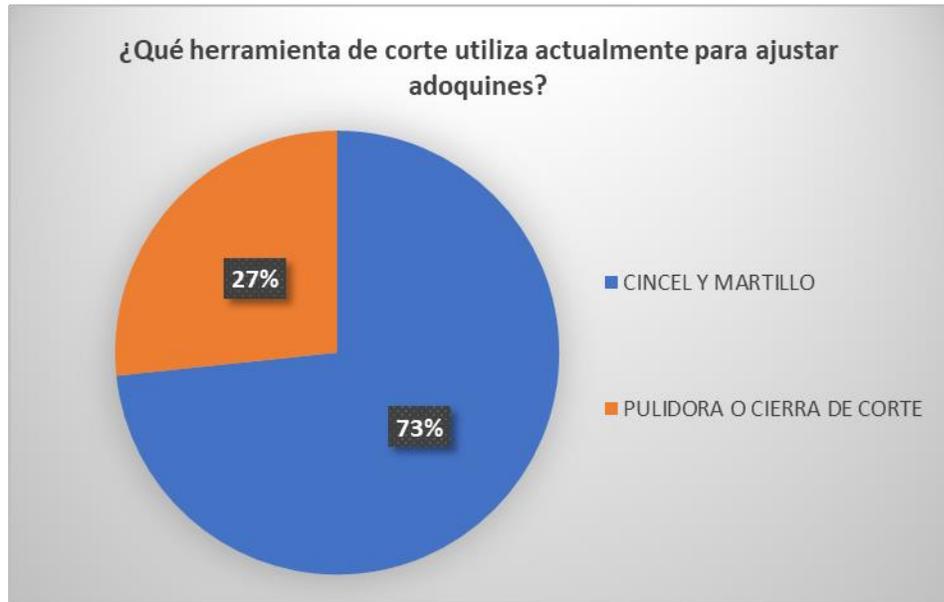


Ilustración 5. *¿Qué herramienta de corte utiliza para ajustar adoquines?* Fuente: Elaboración propia.

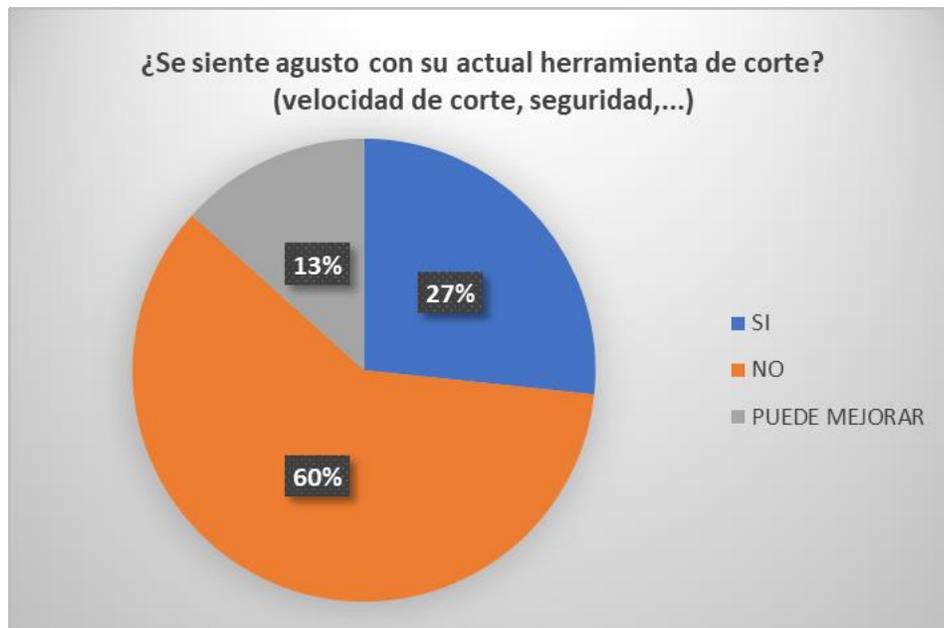


Ilustración 6. *¿Se siente a gusto con su actual herramienta?* Fuente: Elaboración propia.

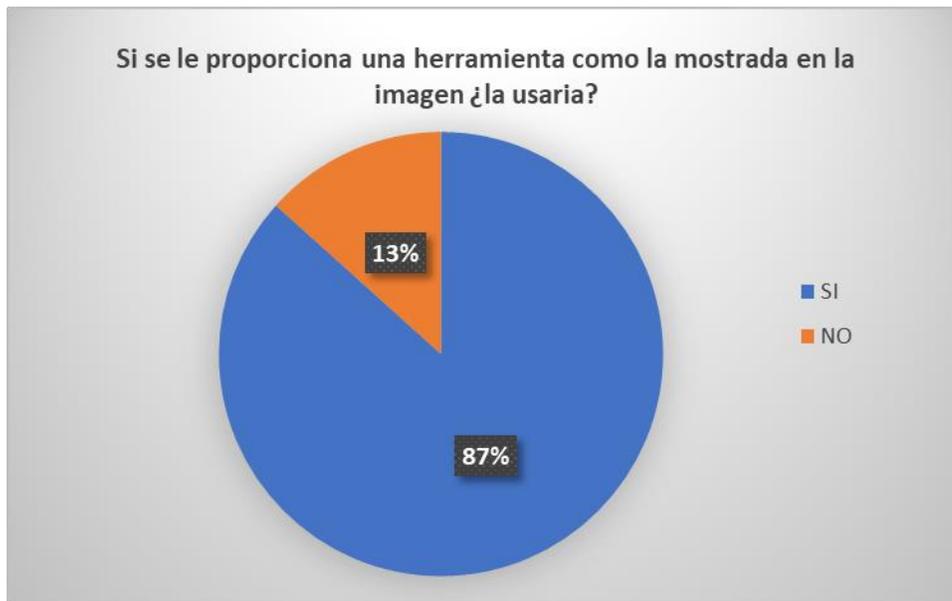


Ilustración 7. **Si se le proporciona una herramienta con la mostrada en la imagen ¿la usaría?** Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 8. **Cortador de ladrillos manual (Vevor, n.d.)** Fuente: https://www.vevor.es/maquina-para-cortar-ladrillos-c_11185/cortador-de-ladrillos-cortador-de-adoquines-de-bloques-12-6-x-5-5-manual-p_010584571556

3.1.1 Adquisición de muestras para ensayos

Para llevar a cabo pruebas y ajustes de funcionamiento, se investigaron proveedores que contaran en su inventario con adoquines de terracota del tipo español con dimensiones de 20 cm de largo, 10 cm de ancho y 8 cm de alto. Aunque la fábrica LADRILLERA SANTAFE S.A, ubicada en Usme, no pudo proporcionar muestras, sugirieron acudir a un distribuidor autorizado para adquirirlos. Durante la búsqueda, se encuentra un distribuidor que explica el proceso de adquisición de los adoquines, ya que se obtenían bajo pedido y en grandes cantidades. Afortunadamente, el distribuidor tenía algunos disponibles para la venta, proporcionando así los adoquines necesarios para el estudio, incluyendo adoquines para tráfico pesado y tráfico ligero del tipo español de terracota.

Para las pruebas, se empleó como herramienta de corte un perfil de acero comercial, específicamente el acero estructural A36, que es comúnmente utilizado en aplicaciones de construcción debido a su buena relación entre resistencia y costo. El perfil de acero A36 tiene una resistencia a la fluencia de 36,000 psi (250 MPa) y una resistencia a la tracción de 58,000-79,800 psi (400-550 MPa). (American Institute of Steel Construction (AISC), 2017). Se realizan pruebas en una prensa hidráulica y con el perfil a 90° para determinar el comportamiento del corte de los adoquines de terracota del tipo español.



Ilustración 9. ***Prueba de corte del adoquín en prensa hidráulica.*** Fuente: Elaboración propia.

El propósito de este estudio es verificar la existencia de una separación entre los materiales, en lugar de un aplastamiento o trituración de los mismos. Se lleva a cabo una serie de cargas hidráulicas manuales para determinar mediante un manómetro, la fuerza a la que el adoquín se rompe. Una vez identificada la fuerza a la que ocurre la separación del adoquín, se pueden formular hipótesis sobre el fenómeno y realizar cálculos para establecer la fuerza necesaria que se debe aplicar para lograr el corte adecuado, tanto mecánica como hidráulicamente.

Iteración	Presión (psi)
1	1036
2	1124
3	1187
4	1072
5	1096

Tabla 2. **Iteración de roturas en adoquines.** Fuente: Elaboración propia.

$$\frac{(1036 + 1124 + 1187 + 1072 + 1096)}{5} = \frac{5515}{5} = 1103 \text{ psi} \approx 1100 \text{ psi}$$

La desviación estándar de dichos datos se calcula para poder determinar el porcentaje de diferencia o incertidumbre que existe entre un dato y otro.

$$\text{Porcentaje de desviación} = \left(\frac{\text{Desviación estándar}}{\text{media}} \right) * 100$$

$$\text{Media} = 1103$$

$$\text{Varianza} = 3249$$

$$\text{Desviación estándar} = 57$$

$$\text{Porcentaje de desviación} = \left(\frac{57}{1103} \right) * 100 = 5.17\%$$

Dando como resultado una desviación del 5.17% dicho valor podría variar en función del número de pruebas realizadas y el lote de fabricación ya que incluso las condiciones climáticas pueden afectar en el comportamiento morfológico y estructural del adoquín.

Con estas pruebas realizadas se establece un promedio de 1100 psi como se observa en la tabla 2. Se realizan varias pruebas ya que los resultados pueden ser muy variables en base a factores tales como humedad o variación morfológica de los adoquines.



Ilustración 10. ***Presión de corte en manómetro hidráulico (1072 psi)***. Fuente: Elaboración propia.

La presión que se alcanza para realizar la fractura del adoquín es de 1100 psi como se aprecia en la tabla 2 y la ilustración 10, valor que se toma de referencia para realizar los cálculos.



Ilustración 11. **Separación de adoquín.** Fuente: Elaboración propia.

Al efectuar el corte se observa en la ilustración 11, que el fenómeno de fractura intenta mantenerse en línea recta, sin embargo, las irregularidades morfológicas del adoquín y sus impurezas influyen en el trayecto del proceso de corte. Por ello, se decide colocar una cuchilla en la parte inferior para conseguir una grieta uniforme y guiar de manera eficaz la separación, se realizaron 5 pruebas que dieron los resultados esperados.

3.2 Selección de información

En el marco de este proyecto, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de la información recopilada, con el objetivo de identificar y seleccionar los datos más relevantes para el diseño del prototipo. Entre los aspectos a considerar se encuentran el tipo de adoquines a utilizar, las posibles dimensiones del prototipo, la fuerza requerida para su operación, los materiales necesarios, así como los cilindros hidráulicos y válvulas que se utilizan en su construcción. Así se garantiza un diseño preciso y eficiente que cumple con las expectativas y necesidades planteadas en el proyecto.

3.2.1 Carga distribuida a carga puntual

Una vez obtenidos los datos acerca de la presión ejercida sobre el émbolo hidráulico, se calcula el concentrador de esfuerzos localizado en el adoquín y de esa manera se realiza una distribución de cargas en el diseño.

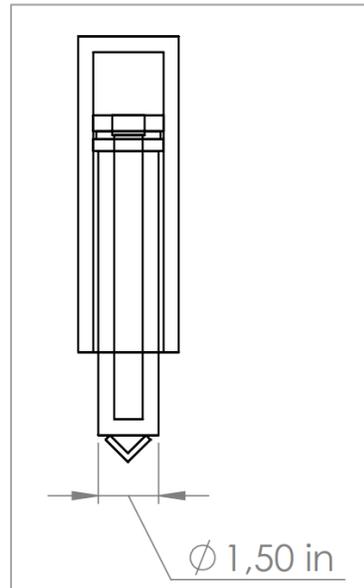


Ilustración 12. **Bosquejo de la prensa usada para el corte.** Fuente: Elaboración propia.

La ilustración 12, hace una referencia acerca de cómo se realiza el ensayo con una prensa hidráulica, similar a la ilustración 9, donde se muestra un bosquejo de la prensa y del perfil con un ángulo de 90° siendo colocado de tal manera que el filo quede normal al plano, el área de sección transversal del cilindro tiene un diámetro de 1.5 in.

Haciendo uso de la ecuación 1 que se encuentra en la sección 2.8 de ecuaciones.

$$F = P * A \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$F = 1100 \text{ psi} * \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$F = 1943.860454 \text{ lb}$$

$$1N = 1lb * 4.448222$$

$$1943.86 \text{ lb} * \frac{4.448222 \text{ N}}{1 \text{ lb}} = 8646.72 \text{ N}$$

El resultado de la ecuación 1 es la fuerza que existe en el embolo de la prensa a 1100 psi con un resultado de 8646 N. Con este dato se puede hallar la carga puntual.

Una vez realizado el cálculo, se efectúa un diagrama de cuerpo libre para determinar cómo se realiza la distribución de cargas en el perfil de acero. La carga se divide en dos porque estos son los puntos de apoyo.

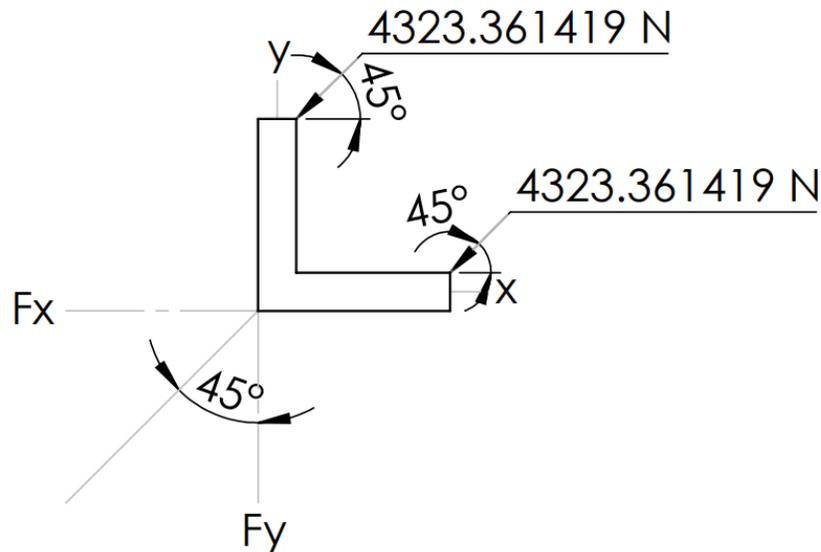


Ilustración 13. **Diagrama de cuerpo libre.** Fuente: Elaboración propia.

$$\Sigma_{Fx} = F * \cos \theta \rightarrow F * \cos \theta = ((4323.36N * \cos(45^\circ)) * 2$$

$$\Sigma_{Fx} = 6114.15N$$

$$\Sigma_{Fy} = F * \sin \theta \rightarrow F * \sin \theta = ((4323.36N * \sin(45^\circ)) * 2$$

$$\Sigma_{Fy} = 6114.15N$$

Usando Pitágoras para hallar la fuerza resultante. Donde a y b son los vectores donde se distribuye la fuerza.

Haciendo uso de la ecuación 2 que se encuentra en la sección 2.8 de ecuaciones.

$$F^2 = a^2 + b^2 \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$F = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$F = \sqrt{(6114.15N)^2 + (6114.15N)^2}$$

$$F = 8646.72N$$

Demostrando así que la fuerza que es aplicada en los dos puntos se distribuye uniformemente hasta llegar al filo.

$$P = \frac{F}{A}$$

El área que se utiliza, es una aproximación del filo del perfil, ya que al ser un área reducida el concentrador de esfuerzos incrementa.

$$P = \frac{8646.72N}{(0.35mm)(280mm)}$$

$$P = 85.78 \frac{N}{mm^2}$$

El resultado de la ecuación 2 es el valor de la presión entre la cuchilla y la superficie del adoquín, con esto se determina que la carga se puede dividir entre las dos barras y multiplicarlo por el área de sección transversal de la barra la cual es 285.02 mm².

$$\frac{F}{2} * \text{área de la barra} = \text{presión por cada barra}$$

$$\frac{8646.722838N}{2} * 285.02 \text{ mm}^2 = 15.16 \frac{N}{mm^2}$$

La presión por cada barra es el resultado de dividir en 2 la fuerza de 8646.77 mm², y multiplicarlo por el área de sección transversal de las barras (285.02 mm²) que reciben la carga, como en la ilustración 14.

3.2.2 Cuchilla

Se llevó a cabo un estudio meticuloso en busca de un enfoque matemático-físico para diseñar una cuchilla de impacto, encontrando que la investigación en el campo del impacto de materiales cerámicos con cuchillas es bastante escasa.

Se eligió un material metálico con propiedades adecuadas para resistir las cargas y abrasiones resultantes de la fractura de adoquines, y se decidió analizar diferentes ángulos de incidencia entre la cuchilla y el adoquín, incluyendo 45°, 90°, 60° y 25°. Así, se llevó a cabo el estudio de tensiones y el análisis de elementos finitos en SolidWorks, para luego incluir los resultados en una matriz de selección y determinar el ángulo óptimo. Se consideró que la fuerza de reacción requerida para fracturar el adoquín es de 3.4 MPa y que las dimensiones de la cuchilla propuestas son: 0.015 m de ancho, 0.09 m de alto y 0.29 m de profundidad. El material elegido es acero al carbono 1045 laminado en frío, sus datos característicos están en la tabla 3.

Propiedad	Valor	Unidad
Módulo elástico	205000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.29	(adimensional)
Módulo cortante	80000	N/mm ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	625	N/mm ²
Límite elástico	530	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	1.15×10^{-5}	N/K
Conductividad térmica	49.8	J/(m*K)
Calor específico	486	J/(kg*K)

Tabla 3. **Propiedades del material AISI 1045.** Fuente: Los datos de diseño se extrajeron utilizando SolidWorks 2020 (Dassault Systèmes, 2020).

A continuación, una breve explicación y un corto paso a paso para el método de implementación.

- ✚ Selección de los elementos característicos más relevantes para el estudio (ilustración 14), los cuales en este caso son la cuchilla, el adoquín y la base donde se apoya el adoquín.

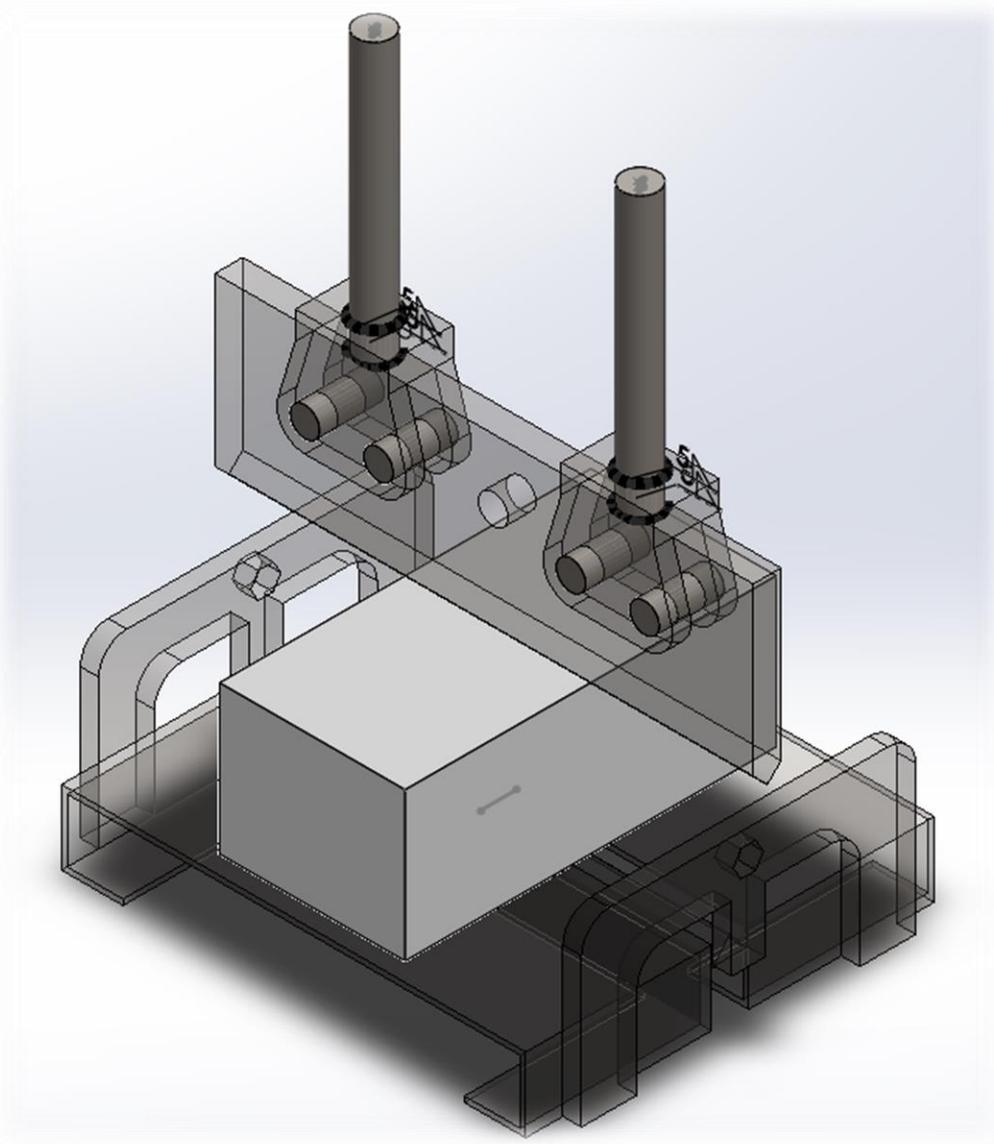


Ilustración 14. **Elementos relevantes.** Fuente: Elaboración propia.

- ✚ Crear las relaciones de posiciones esenciales para darle una perspectiva al programa acerca de cómo se deben comportar las piezas en un ambiente cercano a la realidad.

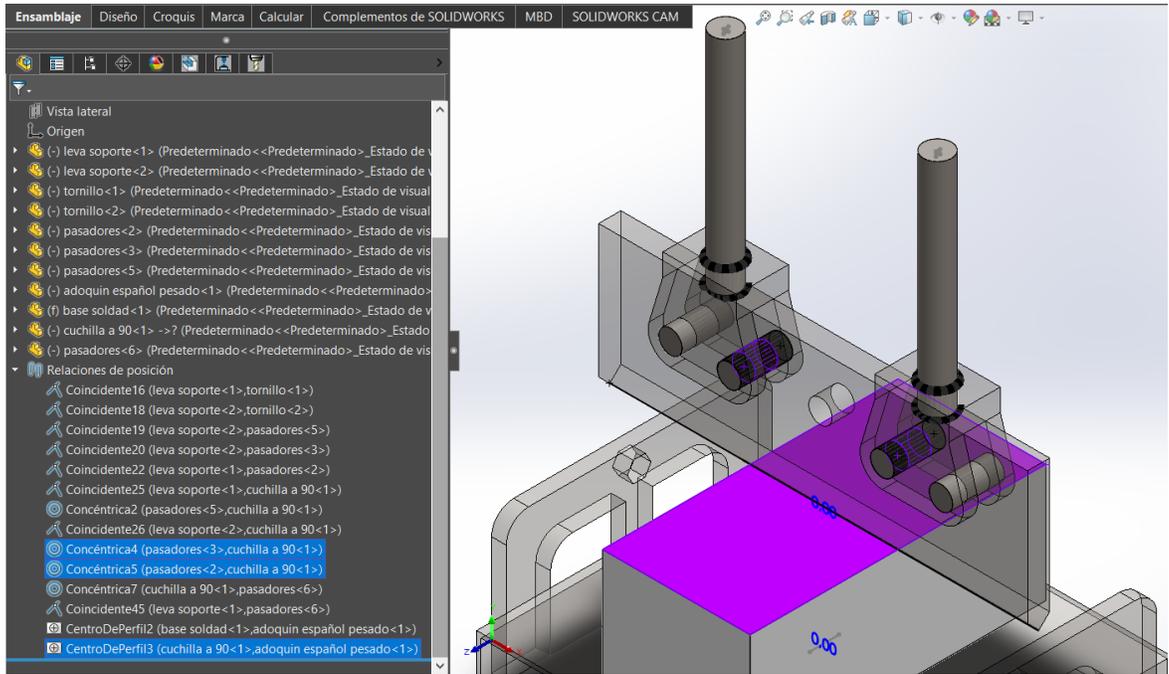


Ilustración 15. **Áreas de contacto.** Fuente: Elaboración propia.

- ✚ Aplicar el complemento de *Solid Works Simulation*. Para realizar un análisis estático o un estudio de elementos finitos. Se usan las sujeciones que describen cómo se soporta el modelo y qué restricciones de movimiento tienen las piezas incluidas en el modelo.

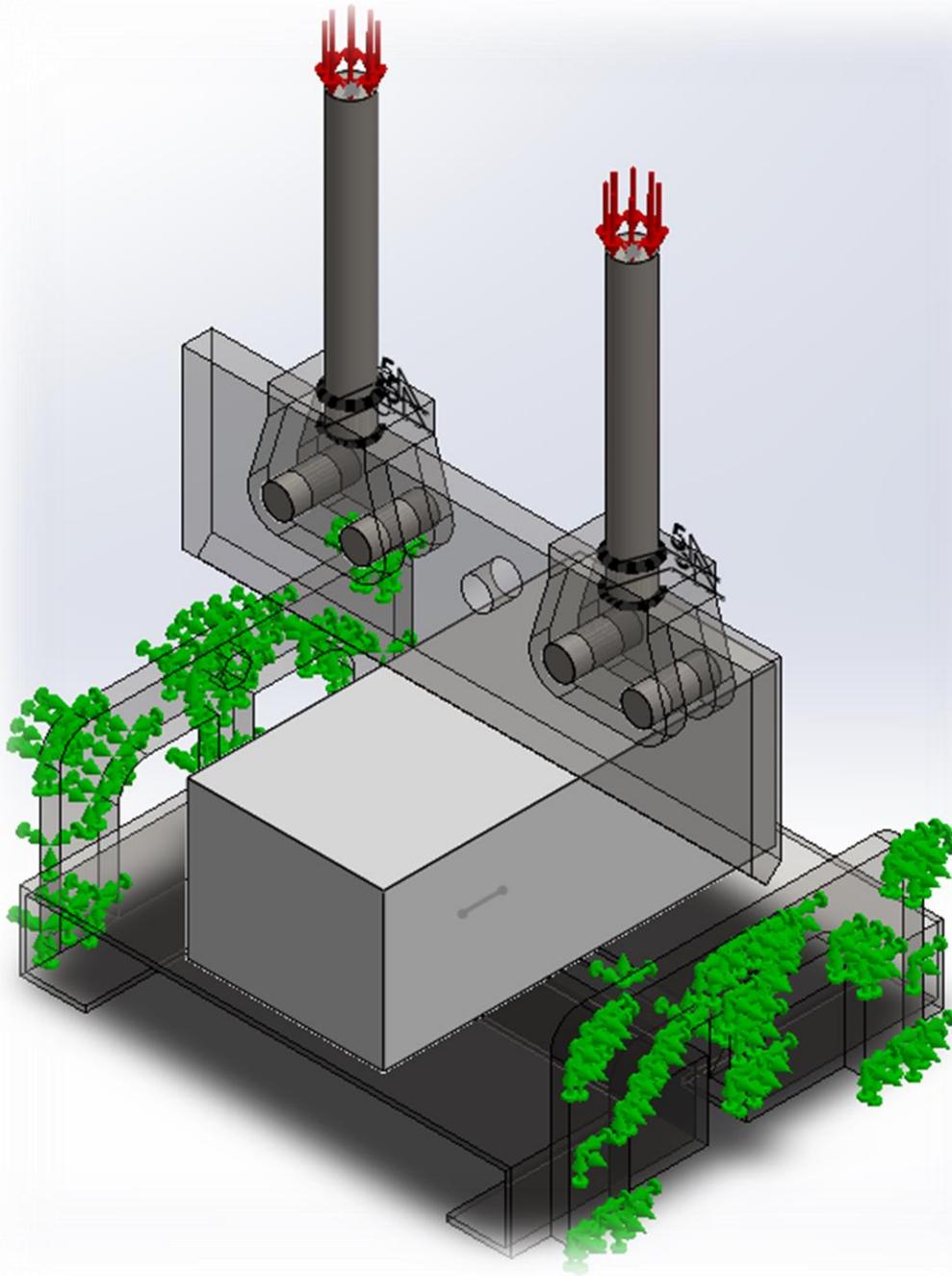


Ilustración 16. **Sujeciones.** Fuente: Elaboración propia

- ✚ Creación de parámetros de malla para la generación de nodos: estos nodos poseen características morfológicas que permiten simular la pieza dividiéndola en pequeñas partes, con el fin de observar cómo interactúan entre sí en relación con

fenómenos externos aplicados. Una malla más fina mejora los resultados obtenidos y en algunos casos, puede ser necesaria para obtener resultados precisos de esfuerzo y tensión en ciertas áreas.

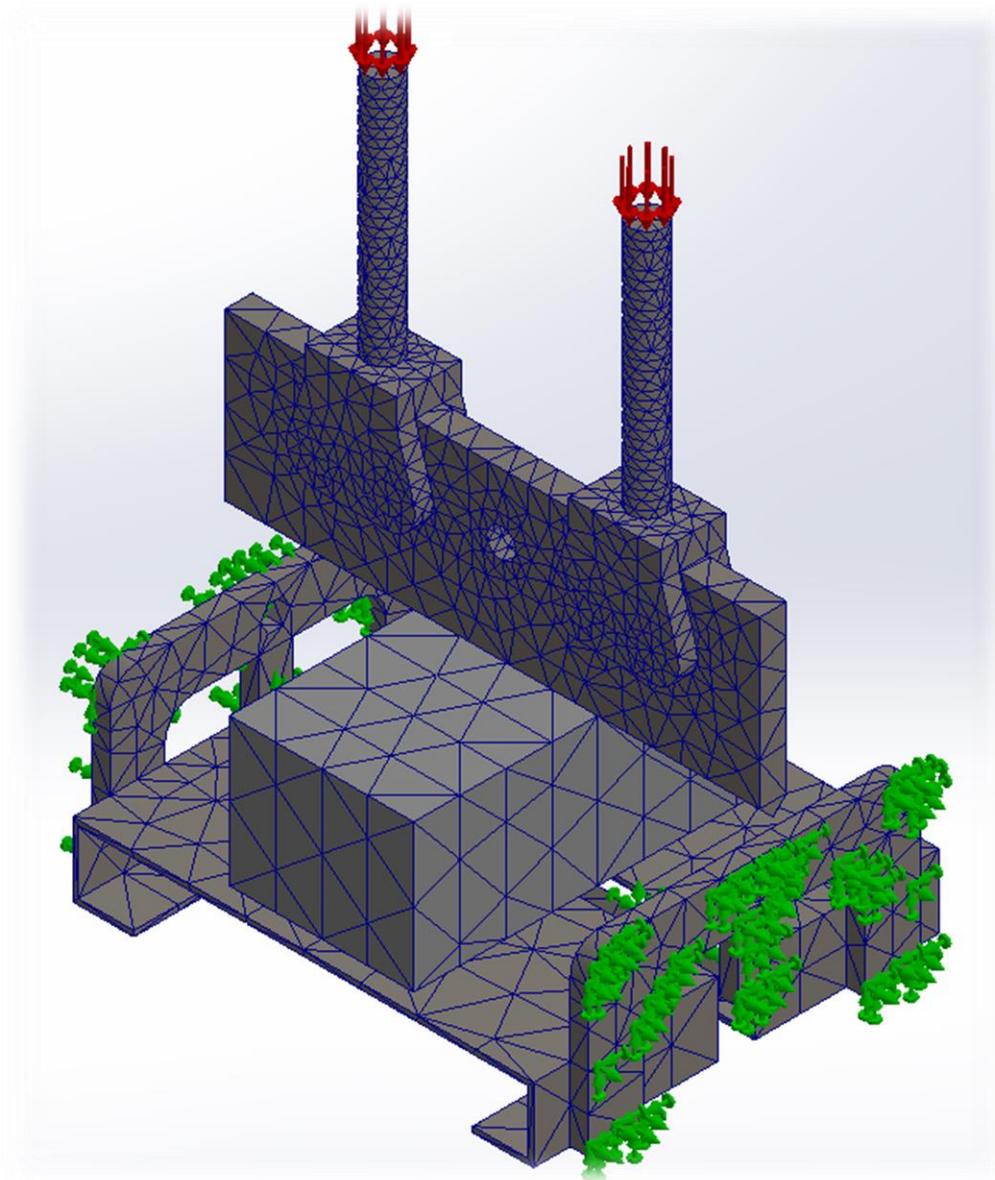


Ilustración 17. **Malla de nodos.** Fuente: Elaboración propia.

- ✚ Implementación de cargas externas para el estudio de corte de los materiales: en este caso, las cargas externas simulan interacciones provocadas por fenómenos o

sólidos externos excluidos del análisis, como el peso de los elementos o cargas aplicadas por usuarios. Estos estudios estáticos asumen que las direcciones de carga no varían. Además, se puede establecer la metodología de estudio según la naturaleza del material ya sea dúctil o rígido. Para este ensayo, se realiza un estudio basado en el criterio de Mohr ya que se trata de un elemento de alta dureza y fragilidad. Por otro lado, la punta de la cuchilla recibe un tratamiento térmico que permita una dureza en su exterior y una capacidad plástica en su interior mediante el proceso de cementación.

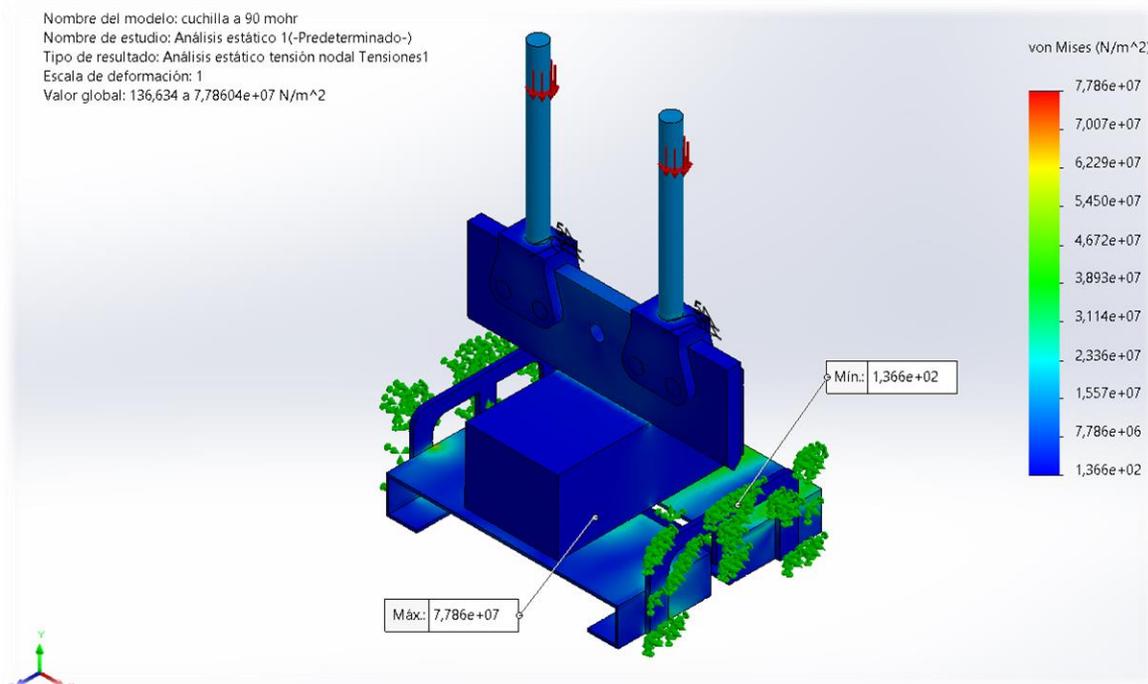


Ilustración 18. **Esfuerzos máximos y mínimos.** Fuente: elaboración propia.

3.2.3 Resultados del estudio de elementos finitos

La siguiente tabla incluye los datos más relevantes de los estudios, no obstante, los estudios completos se encuentran en el anexo 3.

Ángulo	Punto mínimo	Punto máximo
25°	$1.101 \cdot 10^2 \text{ N/m}^2$	$1.33 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$
45°	$2.346 \cdot 10^1 \text{ N/m}^2$	$9.863 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$
60°	$6.736 \cdot 10^1 \text{ N/m}^2$	$9.941 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$
90°	$1.366 \cdot 10^2 \text{ N/m}^2$	$5.911 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$

Tabla 4. **Resultados del estudio de elementos finitos.** Fuente: Elaboración propia

- ✚ A partir de los datos obtenidos en la tabla 4, se puede demostrar que los ángulos predilectos para una geometría funcional son los de 60° y 90°, ya que el punto máximo se genera en la base, en comparación con los demás valores, indicando que toda la carga se está dirigiendo de manera efectiva a la base y por ende se transmite el fenómeno de manera correcta. Por otro lado, el punto máximo se ubica en la cuchilla en todos los casos, pero los menores valores de esfuerzo están en los ángulos 45°, 60° y 90° dando a entender que a medida que el ángulo decrece los concentradores de esfuerzo se incrementan proporcionalmente, de esta manera se establece que la mayor durabilidad de cuchilla y eficacia a la hora de transmitir el fenómeno de impacto está en el ángulo de 90°.

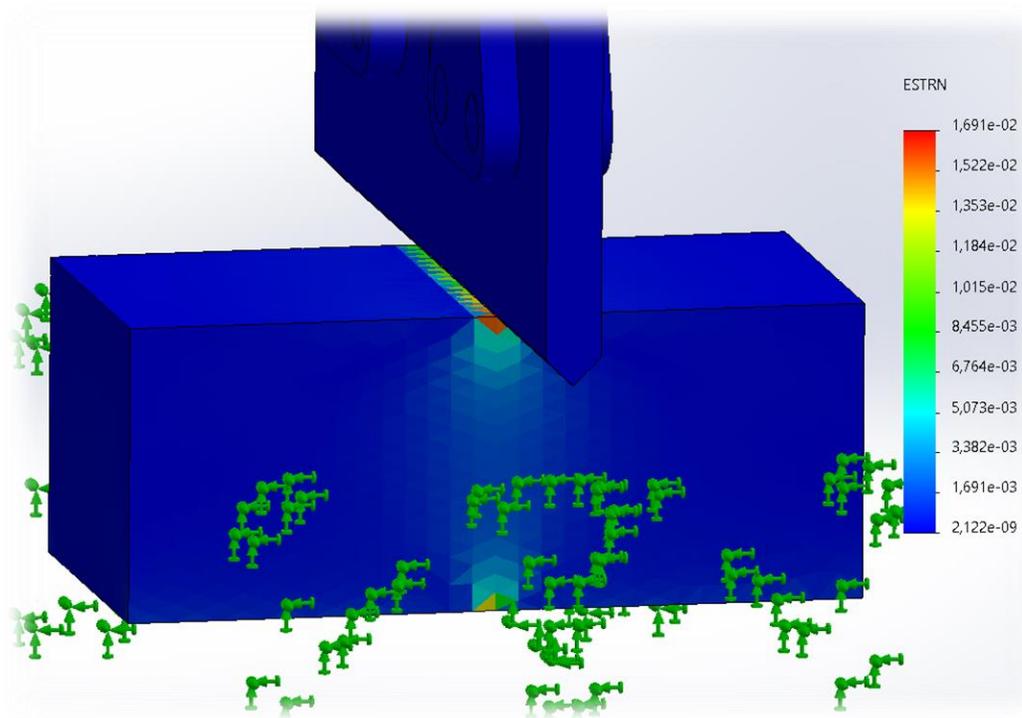


Ilustración 19. *Distribución de cargas*. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Diseño del prototipo

3.3.1 Propuesta de diseño

Se determinó que la forma óptima para que el dispositivo funcione es de manera compacta y plana, manteniendo las piezas lo más cercanas posibles y minimizando la desviación lateral, para así garantizar versatilidad en el despliegue de operaciones viales.

El mecanismo de palanca de torque se ubica de manera paralela a la cuchilla, mientras que la elevación o espacio de apertura entre la base y la cuchilla es definido por la base móvil, la cual recibe toda la carga y presión.

Por otro lado, el mecanismo de levas y el actuador hidráulico se colocan de forma perpendicular al plano de la cuchilla y están cubiertos para prevenir accidentes o lesiones. La base dispone de libertad de movimiento para ajustar la altura del adoquín y su inclinación con respecto al plano transversal.

Una vez obtenidos los requerimientos básicos y seleccionados los primeros elementos, se procede a realizar bosquejos con el objetivo de definir las formas y dimensiones esperadas del prototipo, tanto en su función de trabajo como de transporte.

Para ello, se utiliza un modelo por computadora o CAD, lo que permite tener una idea más clara acerca de las piezas y sus funciones en el diseño del prototipo. Posteriormente, se introducen los prototipos en una matriz, a fin de seleccionar el más idóneo en función de las características deseadas.

3.3.2 Mecanismo manual

El mecanismo manual funciona en base a un movimiento semi rotacional producto de una leva, cuya función es empujar los seguidores o en este caso, las barras que distribuyen la fuerza en la máquina, este movimiento permite una acumulación de carga en un desplazamiento muy corto, ya que los adoquines al tener una gran resistencia y fragilidad, no requieren de un avance significativo en la perforación para lograr la separación.

El mecanismo de leva hace la función de transmisión de fuerza ya que permite un movimiento suave y un desplazamiento controlado con respecto a los grados de giro, de esta manera se logra un control sobre las barras y su desplazamiento.

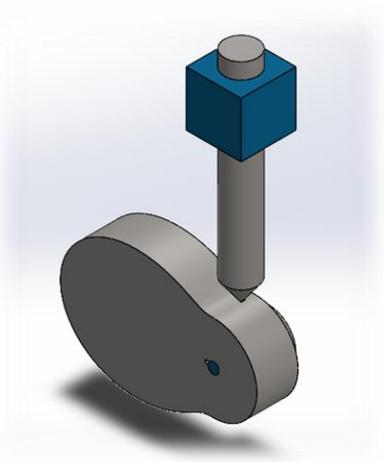


Ilustración 20. **Leva diseñada y seguidor.** Fuente: Elaboración propia.

- ✚ Para realizar movimientos suaves entre los contactos de los metales en un sistema de levas, es necesario cumplir con ciertos requerimientos en el método polinomial. Estos requerimientos permiten que el contacto entre las superficies sea más uniforme, reduciendo la fricción y el desgaste entre los componentes, lo cual es crucial para garantizar una vida útil más prolongada y un rendimiento óptimo del sistema.

Los requerimientos para el método polinomial, son los siguientes:

- ✚ Detenimiento de 25 milímetros en 30° : Esto garantiza un inicio suave y controlado del movimiento en el sistema de levas.
- ✚ Bajada en 30° : Esta característica permite una transición gradual entre el detenimiento y el movimiento descendente de la leva.
- ✚ Desplazamiento 0° durante 300° : esto asegura un contacto constante y estable entre las superficies metálicas durante la mayor parte del ciclo de la leva.
- ✚ Velocidad angular asumida en 1 revolución por minuto: dado que la leva nunca realizará un giro completo, esta velocidad angular permite un movimiento controlado y suave en el sistema.
- ✚ Gran parte de la superficie de la leva no será utilizada; solo se toma en cuenta la zona inicial de detenimiento y el máximo desplazamiento. La sección faltante de la leva se ajusta en función de sus soportes.

Estos requerimientos son favorables, ya que permiten un funcionamiento suave y eficiente del sistema de levas, minimizando el desgaste y la fricción entre los componentes metálicos.

Donde:

$n =$ Grado de polinomio.

$\theta =$ Posición angular de la leva.

$\beta =$ Longitud de segmento.

$C_n =$ Coeficientes polinomiales.

$s =$ Posición.

$v =$ Velocidad.

$a =$ Aceleración.

$$s = C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 + C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^6 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Derivando la ecuación 3 en función del tiempo.

$$v = C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + 6C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Derivando la ecuación 4 para hallar aceleración.

$$a = 2C_2 + 6C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 30C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 \quad \text{Ecuación (5)}$$

Cuando $a = 0$ y $\theta = 0$

$$0 = 2C_2 + 6C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 12C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 20C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 30C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4$$

$$C_2 = 0$$

Cuando $v = 0$

$$0 = C_1 + 2C_2 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 3C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 4C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 5C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + 6C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5$$

$$C_1 = 0$$

Cuando $s = 0$

$$s = C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 + C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^6$$

$$C_0 = 0$$

Cuando $\theta = 60^\circ$ y $\beta = 60^\circ$ en aceleración

$$0 = 6C_3 + 12C_4 + 20C_5 + 30C_6$$

Cuando $v = 0$ y $\theta = 60^\circ$ y $\beta = 60^\circ$

$$0 = 3C_3 + 4C_4 + 5C_5 + 6C_6$$

Cuando θ y $\beta = 0$ y $s = 0$

$$0 = C_3 + C_4 + C_5 + C_6$$

Cuando $\theta = 30^\circ$ y $s = 1$

$$1 = C_3 \left(\frac{30}{60}\right)^3 + C_4 \left(\frac{30}{60}\right)^4 + C_5 \left(\frac{30}{60}\right)^5 + C_6 \left(\frac{30}{60}\right)^6$$

$$1 = C_3(0.125) + C_4(0.0625) + C_5(0.03125) + C_6(0.015625)$$

Se plantea una matriz 4x4 para resolver las incógnitas.

Matriz 4x4

$$\begin{pmatrix} 6c_3 & 12c_4 & 20c_5 & 30c_6 \\ 3c_3 & 4c_4 & 5c_5 & 6c_6 \\ c_3 & c_4 & c_5 & c_6 \\ 0.125c_3 & 0.0625c_4 & 0.0312c_5 & 0.015625c_6 \end{pmatrix}$$

Resolviendo ...

$$c_4 = -192 ; c_5 = 192 ; c_6 = -64 ; c_3 = 64$$

$$s = 64 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 - 192 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + 192 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 - 64 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^6$$

Una vez se obtienen los datos se realiza una tabla como en la ilustración 21 con los resultados de la ecuación polinomial a lo largo de los 360° para introducirlo en Solid Works en un estudio de análisis de movimiento.

	A	B	C
1	theta	S	t
2	0	0	0
3	1	1,0792E-05	0,00116356
4	2	8,4898E-05	0,00232712
5	3	0,00028173	0,00349069
6	4	0,00065654	0,00465425
7	5	0,00126058	0,00581781
8	6	0,00214115	0,00698137
9	7	0,00334178	0,00814493
10	8	0,0049023	0,0093085
11	9	0,006859	0,01047206
12	10	0,00924468	0,01163562
13	11	0,0120888	0,01279918
14	12	0,01541759	0,01396274
15	13	0,01925415	0,0151263
16	14	0,02361855	0,01628987
17	15	0,02852795	0,01745343
18	16	0,03399667	0,01861699
19	17	0,04003635	0,01978055
20	18	0,046656	0,02094411
21	19	0,05386211	0,02210768
22	20	0,06165877	0,02327124
23	21	0,07004775	0,0244348
24	22	0,07902859	0,02559836
25	23	0,08859871	0,02676192
26	24	0,09875349	0,02792549
27	25	0,10948637	0,02908905
28	26	0,12078893	0,03025261
29	27	0,132651	0,03141617

Ilustración 21. **Datos tiempo vs posición angular.** Fuente: Elaboración propia.

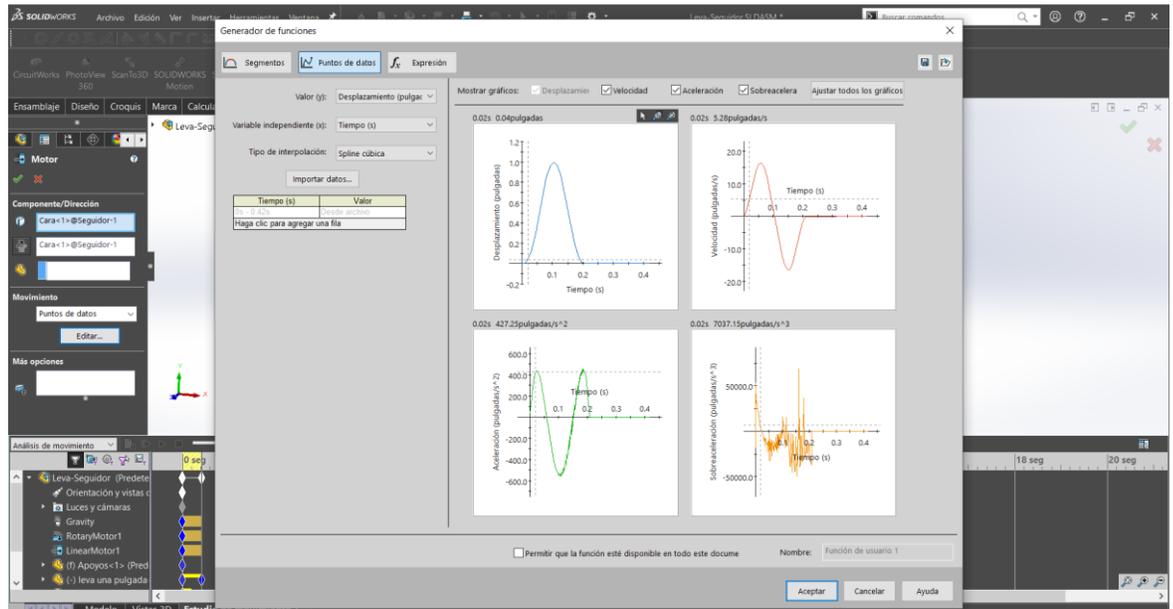


Ilustración 22. **Gráfica de la leva.** Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Sistema hidráulico

Se opta por implementar un gato hidráulico debido a varias ventajas que ofrece. En primer lugar, este dispositivo incluye su propio depósito de aceite, lo que facilita su uso y evita posibles fallas o problemas derivados de cortes en mangueras o tuberías que inducen a pérdidas de presión.

Se requiere que dicho sistema cumpla con los cálculos de presión necesarios para lograr la separación del adoquín de manera eficiente. Además, el gato hidráulico proporciona facilidad de uso y seguridad para el trabajador. La aplicación de fuerza mediante una palanca en este sistema resulta en un movimiento suave, lo que es beneficioso para el operario.

Así, se establece la posibilidad de utilizar un gato hidráulico con una capacidad de dos toneladas, que cumple con los requisitos mencionados y ofrece ventajas en términos de funcionalidad, seguridad y eficiencia en la separación del adoquín.

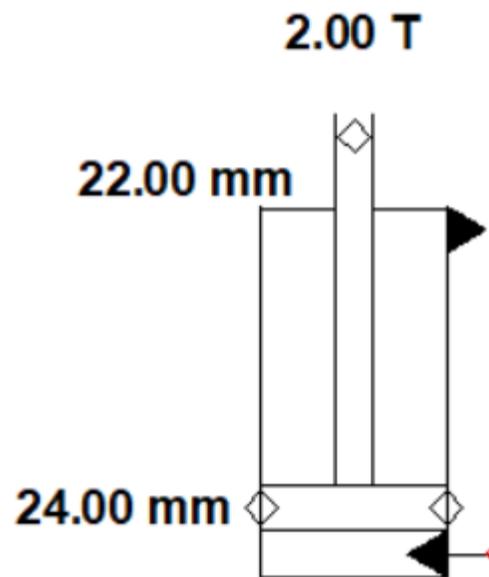


Ilustración 23. **Bosquejo de cilindro en AUTOMATION STUDIO.** Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de comprobar que la implementación de un gato hidráulico de 2 toneladas en el diseño de la máquina será suficiente para cortar el adoquín se realizan los siguientes cálculos:

$$W = F = m * g$$

Donde:

$$W = \text{Peso.}$$

$$F = \text{Fuerza.}$$

$$m = \text{Masa.}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad.}$$

$$W = F = 2 \text{ Toneladas} * \frac{9.8 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 2000 \text{ kg} * \frac{9.8 \text{ m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 19600 \text{ N} \left(\frac{\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{s}^2} \right)$$

$$\text{Fuerza} = \text{Presion} \cdot \text{Área}$$

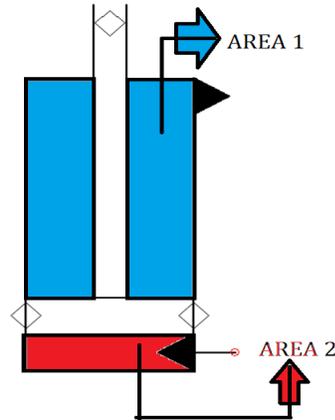


Ilustración 24. **Áreas del cilindro simple efecto.** Fuente: Elaboración propia.

Dado que se trata de un cilindro de simple efecto, se utiliza únicamente el área del pistón para el cálculo de fuerzas y presiones. En este caso, se emplea un gato hidráulico de 2 toneladas, cuyo pistón tiene un diámetro de 24 mm.

$$AP = \frac{\pi * (d)^2}{4}$$

$$AP = \frac{\pi * (24\text{mm})^2}{4} \quad AP = \frac{\pi * (0.024\text{m})^2}{4} \quad AP = 4.52389 * 10^{-4}\text{m}^2$$

En la ecuación 7 se plantea la fórmula para hallar el área del pistón.

$$\text{Fuerza} = \text{Presión} * \text{Área} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$\text{Presión} = P$$

$$P = \frac{19600\text{N}}{4.52389 * 10^{-4}\text{m}^2}$$

$$P = 43325512.29 \text{ Pa}$$

$$P = 6283.83 \text{ Psi}$$

- ✚ Cálculo con 1100 psi para comprobar que el gato de 2 toneladas funciona para partir el adoquín

$$\text{Fuerza} = \text{Presión} * \text{Área} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\text{Fuerza} = (\text{Presión a la que partió el adoquín}) * (\text{Área Pistón del gato hidráulico})$$

$$\text{Fuerza} = 1100 \text{ psi} * 4.52389 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Fuerza} = 7584233 \text{ Pa} * 4.52389 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Fuerza} = 3431.02 \text{ N}$$

$$F = m * g$$

$$m = \frac{F}{g}$$

$$m = \frac{3431.02 \text{ N}}{9.8 \text{ m/s}^2} \quad m = \frac{\text{N} \rightarrow \left(\frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}^2}\right)}{\text{m/s}^2}$$

$$m = 350.10 \text{ kg}$$

$$m = 0.350104 \text{ Toneladas}$$

Este resultado comprueba que con un gato hidráulico que supere la capacidad de 0.35 toneladas será suficiente para partir el adoquín. Demostrando que un gato hidráulico de 2 toneladas será más que óptimo.

- ✚ Multiplicador de fuerza

$$\frac{F1}{S1} = \frac{F2}{S2}$$

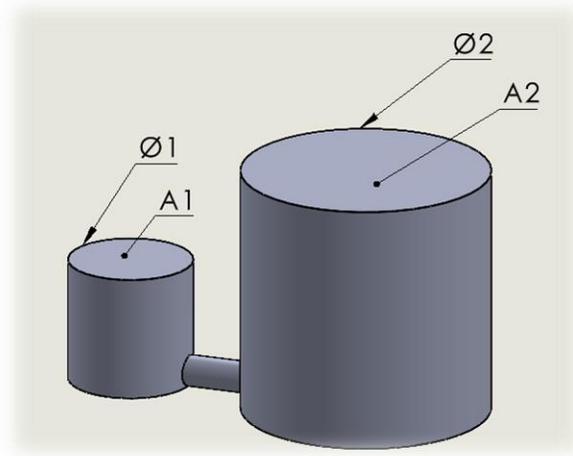


Ilustración 25. **Diagrama multiplicador de fuerza.** Fuente: Elaboración propia.

$\varnothing 1 = \text{Émbolo de palanca}$

$$\varnothing 1 = 11\text{mm} = 0.011\text{m}$$

$$\text{Área 1 Émbolo de la palanca} = \frac{\pi \cdot (0.011\text{m})^2}{4}$$

$$\text{Área 1 Émbolo de la palanca} = 9.5033177 \cdot 10^{-5}\text{m}^2$$

$\varnothing 2 = \text{Diámetro pistón}$

$$\varnothing 2 = 24\text{mm}$$

$$\text{Área 2} = \text{Área Pistón} = AP = \frac{\pi \cdot (0.024\text{m})^2}{4} = 4.52389 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$$

$$\frac{F1}{S1} = \frac{F2}{S2} \quad \frac{F1}{A1} = \frac{F2}{A2}$$

$$\frac{F1}{9.50 \cdot 10^{-5}\text{m}^2} = \frac{3500\text{N}}{4.52 \cdot 10^{-4}\text{m}^2}$$

$$\frac{F1}{9.50 \cdot 10^{-5}\text{m}^2} = \frac{3500\text{N (Fuerza requerida en newtons para romper un adoquín)}}{4.52 \cdot 10^{-4}\text{m}^2}$$

$$F1 = \frac{3500N}{4.523 \cdot 10^{-4}m^2} \cdot 9.503 \cdot 10^{-5}m^2$$

$$F1 = 735.2436N$$

$$F1 = 74.97 kp$$

$$F1 = 75 kgf$$

Así se concluye que la fuerza necesaria en el émbolo es de 75 kgf para poder permitir la rotura del adoquín.

3.4 Selección de materiales

Se requiere aplicar los conocimientos adquiridos en diversas materias, tales como Diseño mecánico (I, II), resistencia de materiales, sistemas neumáticos e hidráulicos, mecanismos, dinámica, estática, dibujo de máquinas, dinámica de fluidos, tecnología de los materiales, cálculo diferencial y cálculo multivariado, entre otras.

A través de la aplicación de estos conocimientos, se procede al cálculo de las piezas que conforman el diseño, tanto de manera individual como en su ensamblaje con el objetivo de determinar su resistencia y fuerza teórica. Además, se realiza la selección del material y sus dimensiones, así como la aplicación de tratamientos térmicos, si fuese necesario.

Una vez completado el proceso de cálculo, se procede a la elaboración del diseño final utilizando la herramienta CAD. Este diseño es analizado para su posterior construcción, garantizando así que el prototipo cumple con las expectativas y necesidades planteadas en el proyecto.

3.4.1 Pasadores

Para el cálculo de pasadores, es necesario seleccionar un material comercial y determinar las medidas mínimas, añadiendo un factor de seguridad. Un material comercial comúnmente utilizado es el acero AISI 1045. Agregando un factor de seguridad de 1.2.

Los pasadores son los que están marcados en color rojo y verde en la ilustración 26, los de color rojo son los que se calcularon en base a la fuerza máxima que genera el

mecanismo manual, de esta manera se puede sobredimensionar, y los de color verde son solo de sujeción y sus dimensiones no son relevantes.

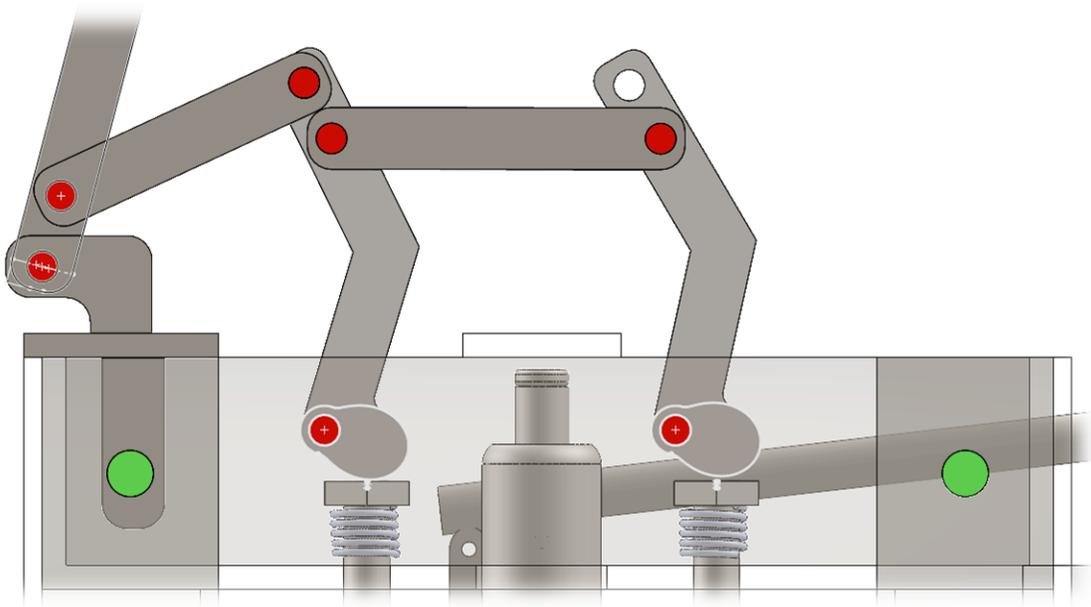


Ilustración 26. **Pasadores** Fuente: Elaboración propia.

Para determinar si el pasador de acero AISI 1045 es adecuado para soportar la carga aplicada con un factor de seguridad de 1.2, se realizan los siguientes cálculos.

- ✚ Cálculo del área mínima requerida del pasador: Para soportar la carga máxima de 19600 N aplicada, teniendo en cuenta el factor de seguridad de 1.2. Se multiplica la fuerza máxima por el factor de seguridad:

$$\text{Fuerza ajustada} = \text{Fuerza máxima} * \text{Factor de seguridad} \text{ (Ecuación 6)}$$

$$\text{Fuerza ajustada} = 19600 \text{ N} * 1.2 \approx 23520 \text{ N}$$

- ✚ Propiedades del material (acero AISI 1045): El acero AISI 1045 es un acero al carbono medio que tiene un límite de resistencia a la tracción (LRT) de aproximadamente 600 MPa (dependiendo del tratamiento térmico y otros factores). (Beer, F. P, Johnston, E. R, DeWolf, J. T, & Mazurek, D. F, 2015)
- ✚ Cálculo del área mínima requerida del pasador: Para calcular el área mínima requerida del pasador, se divide la fuerza ajustada por el límite de resistencia a la tracción del material:

$$\text{Área mínima} = \text{Fuerza ajustada} / LRT$$

$$\text{Área mínima} = 23520 \text{ N} / 600 \text{ MPa}$$

Teniendo en cuenta que:

$$1 \text{ MPa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Al simplificar la ecuación:

$$\text{Área mínima} = \frac{23520 \text{ N}}{600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \approx 39.20 \text{ mm}^2$$

- ✚ Cálculo del diámetro mínimo del pasador: Dado que el pasador es cilíndrico, se puede utilizar la fórmula del área de un círculo para calcular el diámetro mínimo requerido:

$$\text{Área} = \pi * \left(\frac{\text{diámetro}}{2}\right)^2$$

Despejando el diámetro:

$$\text{Diámetro} = 2 * \sqrt{\frac{\text{Área}}{\pi}}$$

$$\text{Diámetro} = 2 * \sqrt{\frac{39.20 \text{ mm}^2}{\pi}} \approx 7.07 \text{ mm}$$

$$7.07 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el diámetro mínimo requerido del pasador de acero AISI 1045 para soportar la carga máxima de 19600 N con un factor de seguridad de 1.2 es de aproximadamente 7.07 milímetros.

Al seleccionar el pasador adecuado, se deben considerar las dimensiones comerciales disponibles. Un pasador de 8 mm de diámetro podría ser una opción razonable, ya que es ligeramente mayor que el diámetro mínimo calculado y es una medida comercial común.

Basado en el cálculo de la ecuación 6, se afirma que los demás elementos que componen la cuchilla también están dimensionados de manera adecuada en base a la medida de 7.07 milímetros. Al utilizar un gato hidráulico con una capacidad máxima de generar una fuerza de 2 toneladas, se concluye que los pasadores utilizados en la cuchilla tienen un diámetro de 5/8 de pulgada o 15.88 milímetros.

Para las levas, se ha elegido un diámetro de media pulgada o 12.7 mm y para las barras del mecanismo se emplearon pasadores con un diámetro igualmente de media pulgada o 12.7 mm. Estos diámetros garantizan que las medidas sean suficientes y, además se encuentran disponibles en el mercado.

En resumen, al dimensionar los elementos de la cuchilla de manera adecuada, se asegura un funcionamiento óptimo y se evita cualquier tipo de falla debido a una sobrecarga en los componentes.

3.4.2 Estructura en general

Algunos de los diseños y cálculos de la estructura se asocian a la prioridad e importancia que estos conllevan en la funcionalidad del proyecto.

3.4.3 Mecanismo

En la sección del mecanismo del proyecto, se aborda el mecanismo de cuatro barras encargado de realizar el movimiento de corte. Dicho mecanismo fue seleccionado debido a su capacidad para transformar el movimiento rotacional de la leva en un movimiento lineal necesario para empujar el seguidor. La adecuada compresión y corte del adoquín se logra mediante el movimiento lineal del seguidor, impulsado por la leva.

Teniendo en cuenta las dimensiones establecidas en el diseño, las barras del mecanismo se ajustaron para que trabajen de manera compacta y eficiente. Estos ajustes garantizan un rendimiento óptimo del mecanismo y, a su vez, permiten que la máquina de corte de adoquines funcione de manera efectiva y precisa.

Al optimizar la disposición y el funcionamiento de las barras del mecanismo, se asegura una mayor durabilidad y eficiencia en el proceso de corte, reduciendo los tiempos de operación y mejorando la calidad del acabado. Además, la selección de un mecanismo de cuatro barras proporciona un diseño compacto y robusto, asegurando que el dispositivo pueda ser utilizado en diversos entornos y condiciones de trabajo sin comprometer su rendimiento.

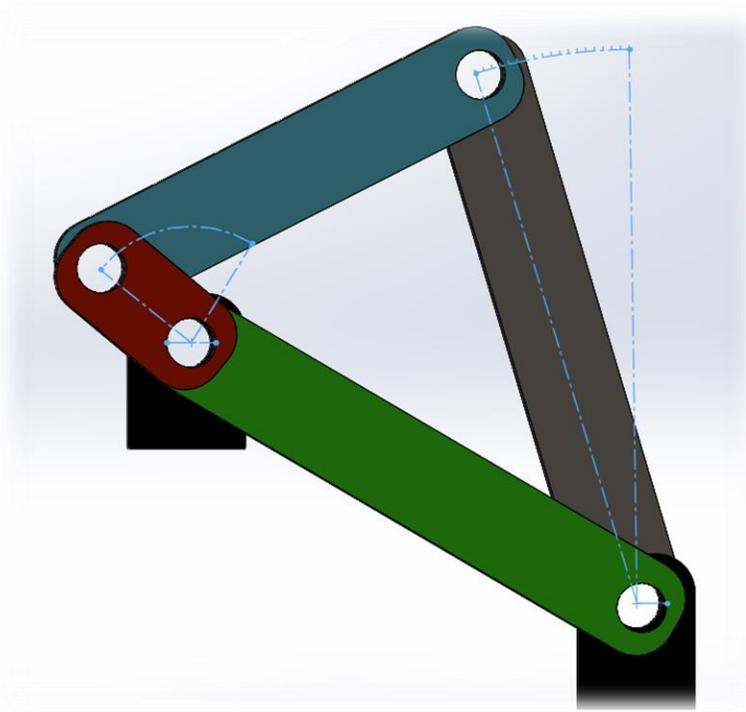


Ilustración 27. **Mecanismo de cuatro barras** Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 27, se muestra el mecanismo en su forma más simple, destacando la función de cada uno de los elementos que lo conforman. En esta ilustración, el color verde representa la sujeción a tierra, mientras que la zona de color negro indica la base sobre la

cual se sostienen los eslabones. El eslabón de color rojo genera el movimiento rotacional, y la línea punteada en esta sección muestra el rango de movimiento permitido para este eslabón. La barra azul ilustra la transmisión del movimiento en relación con la barra de color gris, la cual también tiene una línea punteada que delimita el movimiento de dicha barra.

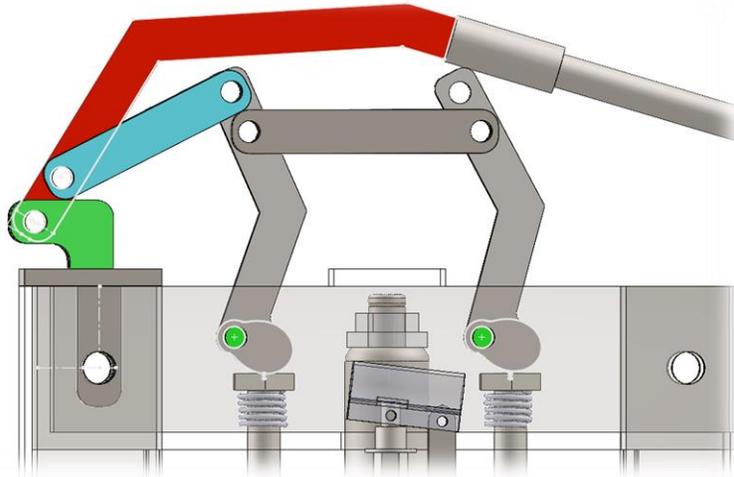


Ilustración 28. **Relación de colores en el mecanismo.** Fuente: Elaboración propia.

Similar a la Ilustración 27, en la Ilustración 28 se observa cómo las barras experimentan algunas modificaciones morfológicas, aunque conservan su esencia en el movimiento. Adicionalmente, se puede apreciar la inclusión de otra leva en el mecanismo, ya que esto constituye un arreglo para permitir replicar el movimiento de la barra gris presente en la Ilustración 27. El color verde continúa representando la sujeción a tierra, mientras que el color rojo simboliza el movimiento generado por la palanca y el color azul la transmisión hacia la barra gris y el repetidor de la leva.

Para determinar los grados de libertad del mecanismo se puede implementar la ecuación de Gruebler.

$$M = 3L - 2J - 3G \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$M = 3(4) - 2(4) - 3(1)$$

$$M = 1$$

Con esta ecuación se logra decir con certeza que el mecanismo tiene un solo grado de libertad.

3.4.4 Resortes

Los resortes se ubican dentro de una viga en forma de U, la cual alberga las barras guía para la cuchilla. Dichas barras permanecen en reposo y solo cuando se ejerce la fuerza de aplicación sobre ellas, los resortes se comprimen y realizan el movimiento como se observa en la ilustración 29.

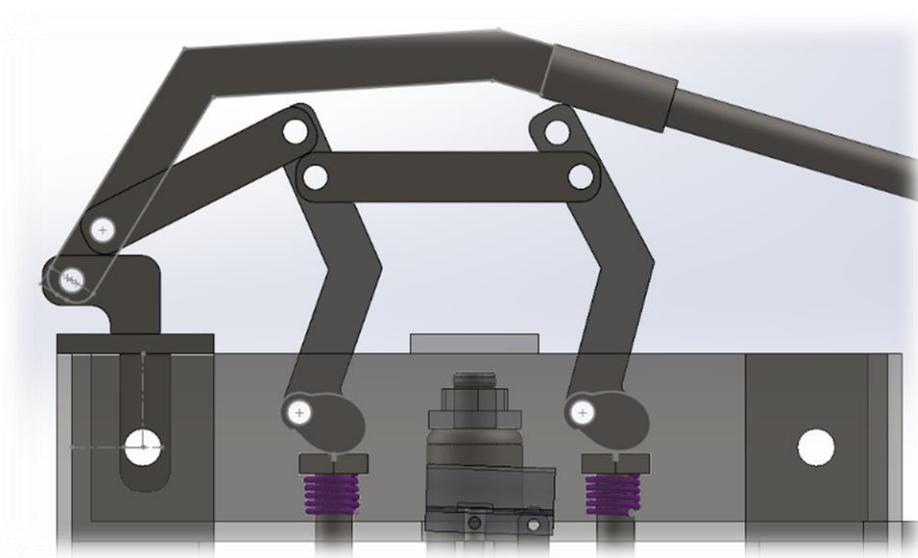


Ilustración 29. **Resortes del mecanismo.** Fuente: Elaboración propia.

Los resortes que están resaltados en color púrpura son los que permiten sostener el peso muerto de la cuchilla, las barras, gato hidráulico y pasadores.

Gracias a la herramienta Solid Works se logra determinar la masa de dicha estructura, dando las cualidades del material que componen cada uno de los elementos.

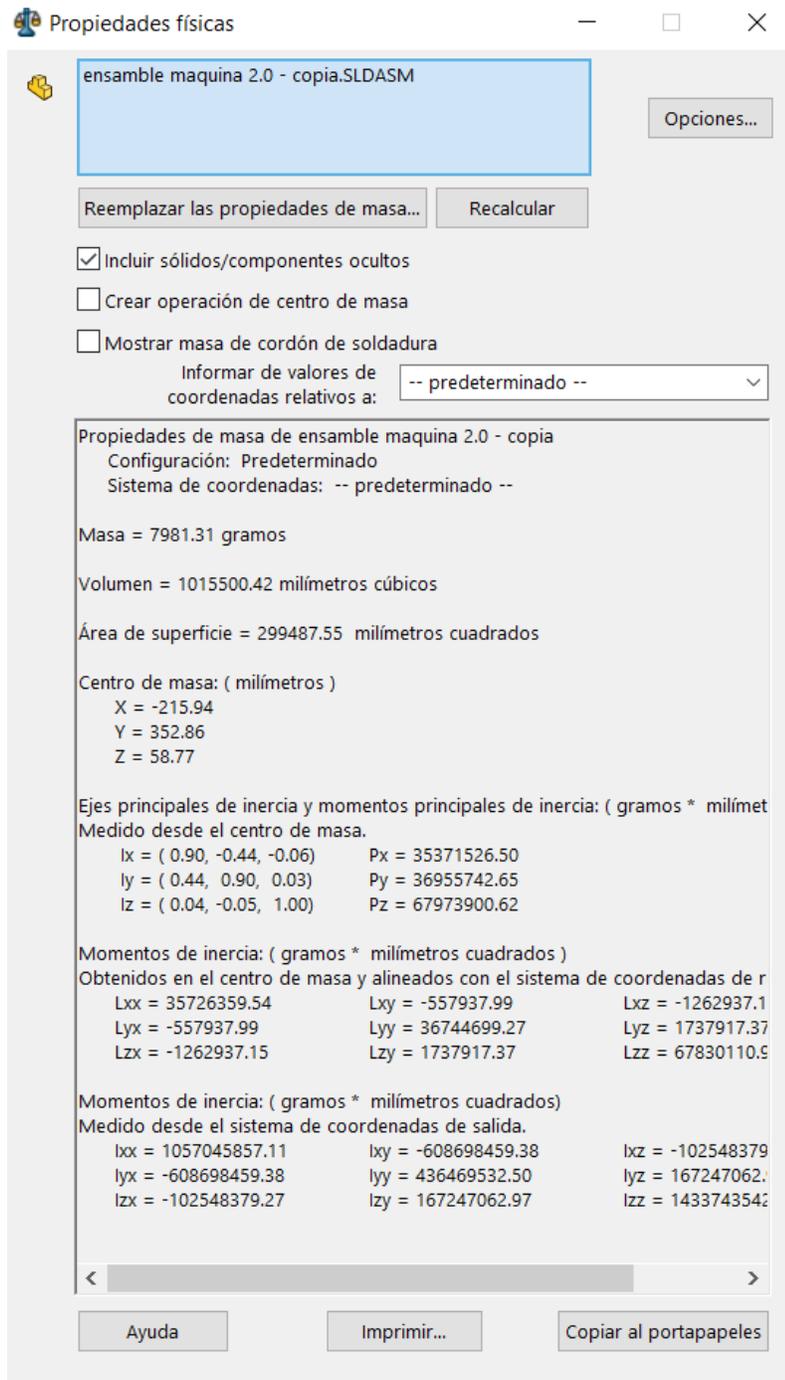


Ilustración 30. **Datos generados por SolidWorks.** Fuente: Elaboración propia.

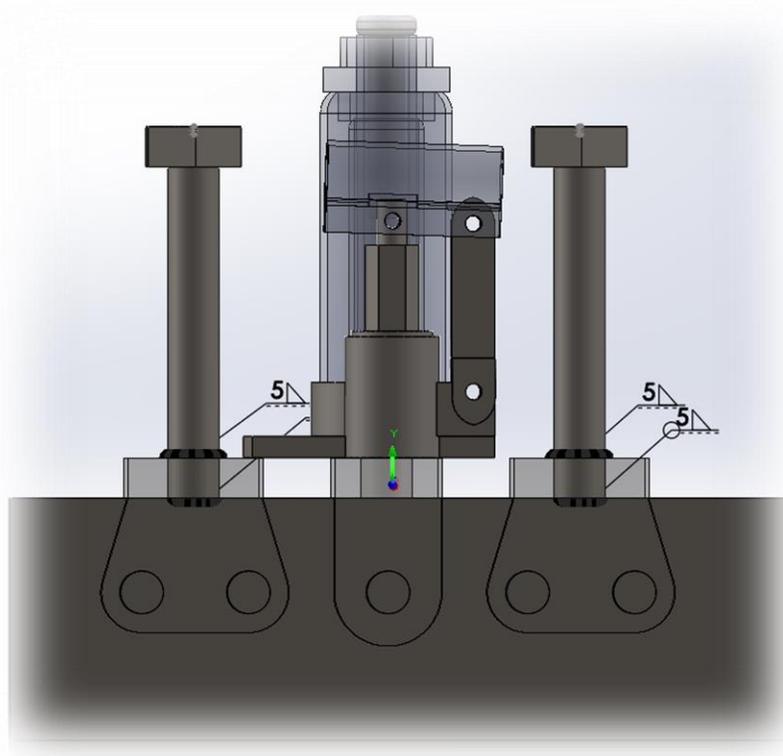


Ilustración 31. **Elementos para medición de masa.** Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la masa de los elementos que soportan los resortes en las ilustraciones 30 y 31, que es de 7.98 kg, y las medidas de restricción en cuanto a posición inicial y posición final del resorte se calculan los dos resortes.

Para calcular los parámetros del resorte, hay que seguir estos pasos:

- ✚ Calcular la carga total que soportan ambos resortes.
- ✚ Calcular la constante del resorte (k) y dividirla entre los dos resortes.
- ✚ Utilizar la ley de Hooke y las proporciones geométricas del resorte para determinar el diámetro del alambre (d) y el número de espiras (n).

Dado que los dos resortes idénticos están conectados en paralelo, cada resorte soporta la mitad de la carga total, que es de 10 kg. Esto equivale a 98.1 N ($10 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$), por lo tanto, cada resorte soportará una carga de 49.05 N.

La compresión máxima permitida para cada resorte es de 19 mm, debido al espacio disponible alrededor del resorte, como se muestra en la ilustración 29. Por lo tanto, se puede calcular la constante del resorte (k) utilizando la ley de Hooke despreciando el signo negativo:

$$F = k * x \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$\text{Masa que soporta} = 98.1 \text{ N}; \text{ Por cada resorte} = \frac{98.1 \text{ N}}{2} = 49.05 \text{ N}$$

$$49.05 \text{ N} = k * 0.019 \text{ m}$$

$$k = 2581.58 \frac{\text{N}}{\text{m}} \text{ Para cada resorte}$$

Ahora que se conoce la constante del resorte, se pueden calcular el diámetro del alambre (d) y el número de espiras (n) utilizando las ecuaciones empíricas para las proporciones geométricas del resorte.

Para ello, es necesario calcular el índice de espiras (C), que se puede obtener a partir del diámetro interno del resorte (D) y el diámetro externo máximo permitido (De):

$$D = 19 \text{ mm (diámetro interno, dado por el eje)}$$

$$De = 34 \text{ mm (diámetro externo máximo permitido)}$$

$$C = \frac{(De - D)}{d} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Considerando que un índice de espiras típico para resortes de compresión es de aproximadamente 4 a 12, se puede tomar un valor medio de $C = 8$:

$$8 = \frac{(34 \text{ mm} - 19 \text{ mm})}{d}$$

$$d \approx 1.875 \text{ mm}$$

Luego, se puede utilizar la ley de Wahl para estimar el número de espiras activas (na):

$$k = \frac{(G * d^4)}{(8 * D^3 * na)}$$

$$2581.58 \text{ N/m} = \frac{(G * (1.8751 \times 10^{-3} \text{ m})^4)}{(8 * (19 \times 10^{-3} \text{ m})^3 * na)}$$

(Sutherland, Mechanical Springs: Engineering Design Guides, 2009)

Donde G es el módulo de rigidez del material del resorte. Para acero de resorte, $G \approx 80$ GPa. Sustituyendo G en la ecuación anterior:

$$na \approx 12.87 \text{ espiras}$$

Normalmente, se agrega una espira cerrada en cada extremo del resorte para mejorar la estabilidad. Entonces, el número total de espiras (n) es:

$$n = na + 2 \approx 14.87 \approx 15 \text{ espiras}$$

Entonces, los resortes tienen un diámetro del alambre de aproximadamente 1.875 mm y un total de 15 espiras cada uno. (Sutherland, 2009)

En el cálculo anterior se asume que el material del resorte es acero AISI 1070, que es un material comúnmente utilizado en la fabricación de resortes debido a sus propiedades mecánicas y su capacidad para soportar cargas repetidas sin deformación permanente. El acero de resorte es una aleación de acero al carbono o acero inoxidable, que se endurece y se temple para mejorar su resistencia y durabilidad.

Específicamente, se utiliza un módulo de rigidez (G) de 80 GPa, que es un valor típico para aceros de resortes. Este valor puede variar dependiendo de la composición química y el tratamiento térmico del acero. (MatWeb, n.d.)

3.4.5 Palanca de aplicación

La palanca tendrá en consideración los cálculos del sistema hidráulico ya que con estos cálculos se puede hallar la longitud mínima para que el operario solo ejerza una fuerza como máximo de 5 kilogramos fuerza, ya que en la ley colombiana de ARL se especifica (Dirección del Trabajo (Colombia), n.d.) que un trabajador no puede realizar trabajos con cargas superiores a 25 kilogramos.

Se hicieron mediciones de fuerza con respecto a la mano izquierda de 4 individuos para medir su máxima fuerza y de esta manera lograr un promedio de la mayor fuerza que puede generar un obrero con su mano no dominante y estar por debajo de ese límite para que se facilite el trabajo.



Ilustración 32. **Fuerza generada por la mano no dominante de varios sujetos.** Fuente: Elaboración propia.

Cómo se evidencia en la ilustración 32 con estas mediciones se puede hacer un promedio para determinar el límite de fuerza de aplicación para el obrero con su mano no dominante y usarlo como base en los cálculos.

$$Promedio = \frac{15.29 \text{ lb} + 22.34 \text{ lb} + 21.25 \text{ lb} + 17.09 \text{ lb}}{4} = 18.9925 \text{ lb} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Mientras la palanca tenga un multiplicador de fuerza que de un resultado de aplicación menor al promedio de los sujetos y menor al permitido por ley, se cumple con el requerimiento. Se asume en un extremo un máximo de 5 kilogramos.

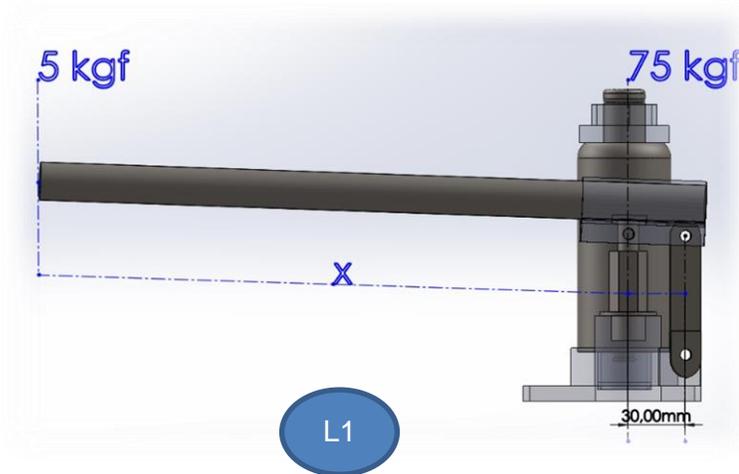


Ilustración 33. **Longitud desconocida.** Fuente: Elaboración propia.

Dado que la palanca funciona con un punto de apoyo fijo a 30 mm del extremo derecho, se plantea la ecuación de la palanca como:

$$F1 * L1 = F2 * L2 \text{ Ecuación (10)}$$

Donde F1 es la fuerza aplicada en el extremo largo de la palanca (5 kg), F2 es la fuerza que se desea aplicar en el émbolo del gato hidráulico (75 kg), L1 es la distancia desde el punto de apoyo hasta el extremo largo de la palanca y L2 es la distancia desde el punto de apoyo hasta el extremo corto de la palanca (30 mm).

La relación de fuerzas es la misma que en el cálculo anterior:

$$\text{Relación de fuerzas} = F2 / F1 = 75 \text{ kg} / 5 \text{ kg} = 15$$

Entonces, la relación entre L1 y L2 es:

$$L1 = 15 * L2$$

$$\text{Ya que } L2 = 30 \text{ mm}$$

$$L1 = 15 * 30 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$$

Entonces, el largo de la palanca del gato hidráulico requerido para aplicar una fuerza de 75 kg en el émbolo del cilindro hidráulico al ejercer una fuerza de 5 kg en el extremo de la palanca, con un punto de apoyo fijo a 30 mm del extremo corto, es de 450 mm.

Por facilidad se va a establecer el largo por encima de la medida calculada, usando un factor de seguridad de 1.33 escogiendo así 60 centímetros de longitud para la barra, dicha barra será usada tanto en el sistema hidráulico como mecánico.

3.5 Construcción del prototipo

Se realiza una serie de cotizaciones en diferentes lugares para determinar cómo rondan los precios en el mercado, dichos precios fluctúan en función de la calidad de los acabados y tiempos de construcción, en las ilustraciones 34, 35 y 36 se muestran las variaciones en los precios.

Se realiza la construcción en **ACEROS PROCESADOS ORTEGA** (ilustración 36) ya que ofrecen un precio no muy alto y unos tiempos de construcción acordes con las necesidades.

Se mecanizan las piezas del movimiento mecánico en otra empresa que ofrecía un precio mucho más bajo comparado a las demás.

28/4/23, 11:20

Cotización - ISIigo

Ítem	Descripción	Cantidad	Vr. Bruto	Impto. Cargo	Vr. Total
1	MECANISMO HIDRAULICO	1.00	800,000.00	19 %	952,000.00
2	MECANISMO MANUAL	1.00	1,500,000.00	19 %	1,785,000.00
3	ESTRUCTURA	1.00	400,000.00	19 %	476,000.00
4	CUCHILLA	1.00	350,000.00	19 %	416,500.00
5	SOPORTE CENTRAL	1.00	900,000.00	19 %	1,071,000.00
Total Bruto					3,950,000.00
Subtotal					3,950,000.00
IVA 19%					750,500.00
Total a Pagar					4,700,500.00

MJ SOLUCIONES Y MANTENIMIENTOS HIDRAULICOS S.A.S
 NIT 901.634.565-9
 CR 54 14 08
 Tel: (3014147247)
 Bogotá - Colombia

Cotización
 No. C-1-21

Para : JUAN SEBASTIAN LUNA
 ANGULO
Nit : 1.030.699.892-3
Fecha : 2023-04-28

Elaborado por SIigo S.A.S Nit: 830.048.145-8

MJ SOLUCIONES Y
 mjsolucioneshidraulicas@gmail.com
 (3014147247)

Ilustración 35. **Cotización Mj soluciones y mantenimientos hidráulicos s.a.s.** Fuente: Propia



ACEROS PROCESADOS
ORTEGA
Soluciones Industriales
LTDA.

Diag. 14Bis No. 54-17
321 284 1926
apoltda@hotmail.com

COMPROBANTE DE CONTABILIDAD
PARA COMPRAS Y/O SERVICIOS
AL RÉGIMEN SIMPLIFICADO
DECRETO No. 522-2003

COMPROBANTE No
0430

DIA MES AÑO
29 03 23

REMISIÓN
COTIZACIÓN

CLIENTE: Juan Sebastian Luna Aguiar

DIRECCIÓN: _____ NIT: 1030699892

CIUDAD: Bogotá TEL: 3024231473

CANT.	CONCEPTO	VALOR UNITARIO	TOTAL
1	Mecanismo Manual	1.200.000	1.200.000
1	Sistema Hidraulico.	500.000	500.000
1	Mecanizado de guillotina.	700.000	700.000
1	Estructura metalica.	1.000.000	1.000.000
1	Base estructura.	500.000	500.000
Total			3.900.000
Abono \$ 1.000.000 =		Iva 19%	741.000
			4.641.000

OBSERVACIONES

RECIBÍ _____

ABONO \$

TOTAL \$ 4.641.000

Ilustración 36. **Cotización aceros Procesados ortega soluciones industriales Ltda.**
Fuente: Propia



FW SUMINISTROS OLEOHIDRAULICOS S.A.S

Ensamble técnico de todo tipo de manguera de alta y baja presión - fabricaciones especiales
tubería moldeada - fabricación de cilindros hidráulicos - empaquetadura hidráulica y Neumática
servicio de torno y fresa
Nit. 900.956.744-9



Señor (es): Juan Sebastian Luna Fecha: 29/03/23

Dirección: _____ Nit: _____ Ciudad: Bogotá

Teléfono: 3024231473 Correo: _____

No. **4563**

Remisión Cotización

CANT.	DESCRIPCIÓN	V/UNID.	V/TOTAL
1	Adaptacion de dispositivo Mecanico		150.000 =
			
Precios + 19% IVA			TOTAL \$

fwsuministrosoleohidraulicos@hotmail.com Dirección: Carrera 54 # 14-08 / Teléfono: 310 241 1690 - 319 327 4690

Ilustración 37. **Cotización fw suministros oleohidráulicos s.a.s.** Fuente: propia

Costos del proyecto:

Se elige realizar la construcción del prototipo en la empresa aceros procesados (ver ilustración 36) debido a sus precios más económicos, sin fabricar la parte del mecanismo

manual debido a su alto costo, se busca otra empresa que realice este mecanismo más económico y se procede a su mecanizado en fw suministros (ver ilustración 37).

El costo total de construcción del prototipo fue de (sin incluir IVA): \$2850000 COP.



Ilustración 38. **Mecanizado de cuchilla y soportes.** Fuente: Elaboración propia.

El proceso de construcción empieza con el marco donde se ubican las cuchillas y partes del mecanismo hidráulico, adicional se realiza el afilado de las dos cuchillas.



Ilustración 39. **Mecanizado y aplicación de cordón de soldadura base del adoquín.**
Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 39 se posiciona la base y la cuchilla superior verificando las tolerancias para lograr un desplazamiento de la cuchilla de manera efectiva.



Ilustración 40. **Instalación del sistema hidráulico.** Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 40 se muestra la instalación del sistema hidráulico y el sistema de bloqueo de la base, al igual que la cuchilla inferior, adicional se realiza la instalación de los tornillos para el sistema de levas.



Ilustración 41. ***Ensamble final y pintura.*** Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 41 se aplica una capa de pintura y se instala el sistema mecánico, este sistema es adquirido por aparte e instalado, ya que el costo de su fabricación es excesivo debido a las tolerancias, acabados superficiales y mecanizados necesarios. Dicho mecanismo solo cumple de manera ilustrativa y de ejemplificación, ya que para lograr el movimiento y presión necesaria para romper el adoquín se requiere de una construcción al detalle de todas sus partes, excediendo así el presupuesto del proyecto.



Ilustración 42. ***Prueba del prototipo en un ambiente real.*** Fuente: Elaboración propia.

Se realiza una prueba en un ambiente real de construcción, los adoquines que se usan son los ***adoquines cuartos 26 terracota*** con unas dimensiones de 6 cm de alto, 26 cm de largo y 6 cm de ancho.



Ilustración 43. **Resultado de la prueba del prototipo en un ambiente real.** Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas realizadas (ver ilustración 42 y 43) demuestran que un operario con tan solo una breve explicación logra operar la máquina con facilidad y consigue realizar el corte de adoquines.

3.6 Pruebas y ajustes

Se hacen pruebas con el adoquín de terracota español para tráfico pesado y los resultados demuestran que el corte realizado con sistema hidráulico proporciona unos cortes adecuados y que no se desvían las grietas, no se tritura el material ni se genera un aplastamiento como se ve en la ilustración 44.



Ilustración 44. ***Corte del adoquín de terracota español para tráfico pesado.*** Fuente: Elaboración propia.

Se realiza una serie de pruebas para catalogar el resultado teórico contra el experimental, según los cálculos de la palanca de aplicación en la sección 3.4.5 se busca cumplir con una fuerza no mayor a 25 kg.

Dicho cálculo es crucial para que los trabajadores no se fatiguen al realizar un esfuerzo tan alto a la hora de realizar los cortes.



Ilustración 45. **Medición de fuerza.** Fuente: Elaboración propia

$$\frac{(5.425 \text{ kg} + 4.925 \text{ kg} + 7.425 \text{ kg} + 7.575 \text{ kg} + 6.180 \text{ kg})}{5} = \frac{31.53 \text{ kg}}{5} = 6.306 \text{ kg}$$

La desviación estándar de dichos datos se calcula para poder determinar el porcentaje de diferencia o incertidumbre que existe entre un dato y otro.

$$\text{Porcentaje de desviación} = \left(\frac{\text{Desviación estándar}}{\text{media}} \right) * 100$$

$$\text{Media} = 6.306 \text{ kg}$$

$$\text{Varianza} = 1.101 \text{ kg}$$

$$\text{Desviación estandar} = 1.049 \text{ kg}$$

$$\text{Porcentaje de desviación} = \left(\frac{1.049 \text{ kg}}{6.306 \text{ kg}} \right) * 100 = 16.63\%$$

Como resultado, se obtiene una desviación del 16.63%. Este valor puede fluctuar dependiendo del número de pruebas realizadas y del lote de producción, ya que incluso factores como las condiciones climáticas pueden influir en las características morfológicas y estructurales del adoquín. Aun así, la fuerza no excede los 25 kg de aplicación en la palanca lo cual cumple en reglamento de estatuto colombiano.

El tipo de corte realizado para las pruebas es con un ángulo de 90 y 45 grados para verificar la cadencia del corte y la distribución de la grieta a lo largo del adoquín.



Ilustración 46. **Geometría de corte.** Fuente: Elaboración propia

Los cortes garantizan una distribución uniforme a través del adoquín y minimizan el desgaste en el borde de la cuchilla como se aprecia en la ilustración 46. Esto se logra realizando más de 45 pruebas de corte, lo que resulta en un deterioro mínimo de la cuchilla. Estas pruebas abarcan una amplia gama de adoquines, cumpliendo así con uno de los requisitos del proyecto que consiste en un rendimiento versátil, no solo en adoquines de terracota pesados, sino también en cualquier otro material cerámico.

Como parte de las pruebas realizadas se busca una construcción vial pequeña donde permitan el uso y toma de evidencias acerca del funcionamiento del prototipo por parte de un operario en la ilustración 47.



Ilustración 47. **Prueba de uso.** Fuente: Elaboración propia

3.7 Manual de operación del prototipo

Para tener un uso más eficiente y fácil del prototipo se realiza este manual de operación que consta de 6 pasos:

3.7.1 Identificación de la máquina o prototipo

El objetivo de este prototipo consiste en el corte de adoquines el cual será efectuado de manera mecánica o hidráulica. La máquina está construida principalmente en una estructura de acero con una cuchilla a 90° como herramienta de corte del adoquín

3.7.2 Descripción de los componentes

La descripción de cada componente de este prototipo se encuentra en los anexos, (ver anexo 2 Planos constructivos). Junto con un plano de cada pieza y un ensamblaje de la máquina.

Antes de proceder a operar la máquina se recomienda revisar el anexo 2 planos constructivos.

3.7.3 Instrucciones de operación

Para la operación de esta máquina primero:

- ✚ Se debe revisar el adoquín a cortar, si este es del tipo liviano o pesado.
- ✚ Si el adoquín es liviano se procede a usar el mecanismo manual.
- ✚ Si el adoquín es pesado se procede a usar el mecanismo hidráulico.

Cada mecanismo tiene una abertura para insertar la palanca una vez identificado el sistema a usar se procede a ubicar el adoquín en la base dando la posición y ángulo requerido por el operario.

Revisar que los pasadores estén bien colocados y todo este ajustado antes de proceder a usar el prototipo.

Insertar la palanca en la abertura elegida y proceder al corte del adoquín.

3.7.4 Procedimientos de seguridad

- ✚ No exceder la capacidad de la máquina con otros materiales diferentes a los frágiles dado que está diseñada para el corte de adoquines, usar este prototipo en cortes para los que no fue diseñada podría causar daños irreversibles en su estructura o incluso en el operario.
- ✚ El operario deberá usar implementos de seguridad como guantes y gafas en todo momento que opere el prototipo.
- ✚ Antes de realizar el corte tomar una buena postura y sujeción firme de la palanca.

3.7.5 Mantenimiento y solución de problemas

- ✚ El mantenimiento de esta máquina consiste en mantener las partes limpias luego de su uso en el ambiente laboral.
- ✚ Cambiar la cuchilla cuando sea notorio el desgaste y pérdida de filo.

3.7.6 Actualizaciones continuas

Este manual necesita ser actualizado a medida que el prototipo sea mejorado o modificado.

4. Sugerencias

- ✚ Se debe emplear el mecanismo manual para el corte de adoquines livianos, y el sistema hidráulico utilizarlo en los adoquines más pesados.
- ✚ Realizar un mejor ajuste en el juego que tienen los pasadores hexagonales del soporte del adoquín con los soportes laterales.
- ✚ Buscar siempre una superficie plana para el uso del prototipo.

5. Resultados y análisis

El objetivo principal del proyecto es realizar un diseño y una construcción funcional de una máquina cortadora de adoquines, en el diseño se toman en cuenta los factores más determinantes para realizar una buena conjetura. Uno de los elementos críticos del diseño fue la cuchilla, a la cual se le realizó un estudio de elementos finitos para determinar el ángulo con que el prototipo tendría una mayor eficiencia. Dicha información acerca del ángulo y tratamiento térmico que debe llevar es un secreto para las compañías ya que estas no desean divulgar los resultados de sus propios estudios, por ende, se realiza una investigación propia para determinar el método más fiable para completar este estudio.

Las cuchillas conllevan un papel muy importante en el proyecto debido a que su desgaste es clave y que su material debe soportar las cargas necesarias. El estudio de distribución de cargas y los diagramas de cuerpo libre son esenciales para lograr un claro y conciso resultado. Resultado que se ve reflejado en las pruebas hechas en ambientes reales de construcción civil.

Las levas son un requerimiento esencial para lograr el corte de manera más rápida y sencilla que cualquier otro método incluyendo el hidráulico. Dicho mecanismo no logró ser construido de manera exacta a los planos por su alto costo, no obstante, los estudios de movimiento hechos en **Solid Works** permiten evidenciar que no existe estrangulamiento en el mecanismo o fallas en el desplazamiento del seguidor y la leva.

Los resortes del mecanismo también son calculados para lograr que la máquina mantenga siempre una posición inicial después de realizar un corte y también lo suficientemente permisivos para no generar una resistencia considerable a la hora de realizar los cortes.

Los pasadores usados en la máquina se calculan en base a la carga que van a soportar como máximo y en base a eso se sobredimensiona y se selecciona un pasador comercial, verificando así que la máquina resiste en condiciones y ambientes extremos.

Las máquinas herramientas usadas por obreros deben cumplir ciertas normas como las ya mencionadas en el documento, donde se habla acerca de la fuerza máxima que puede ejercer un obrero, la palanca de aplicación del mecanismo y de la sección hidráulica cumplen con la distancia calculada correcta y sobredimensionada para facilitar el trabajo.

El sistema hidráulico y su construcción aseguran que tanto el adoquín de terracota de tráfico pesado del tipo español y cualquier otro en el mercado pueda ser cortado con facilidad. Todo esto gracias a los cálculos hechos.

6. Conclusiones

- ✚ El programa SolidWorks permite crear un diseño CAD que se adapta de manera precisa y eficiente a las dimensiones del adoquín que se necesita cortar. Este diseño se caracteriza por ser compacto y portable, lo que facilita su manejo y transporte. Además, se optimiza para maximizar la eficiencia del corte, asegurando un proceso rápido y preciso. Gracias a estas características, SolidWorks permite obtener un diseño que cumple con los requisitos de tamaño, portabilidad y eficiencia necesarios para el corte de los adoquines.
- ✚ Los estudios de elementos finitos realizados en el programa SolidWorks se hacen en función del criterio de Mohr para elementos frágiles y no con el criterio de Von Mises para elementos dúctiles, asegurando que el diseño es exclusivamente enfocado en materiales cerámicos.
- ✚ Se comprueba en los informes de los estudios de los elementos finitos, que el mejor ángulo de corte para materiales frágiles, como lo es el adoquín de tráfico pesado español de terracota, es de 90°.
- ✚ Los resultados del diseño fueron sobredimensionados de manera tal que no representen un peligro para su operación o uso. Ya que es peligroso mantener las dimensiones calculadas sin ningún factor de seguridad. Esto se puede evidenciar en la selección 3.4.1 de pasadores donde se realiza una sobredimensión que ayuda incluso en la selección de pasadores comerciales.
- ✚ Se logra evidenciar en la sección de pruebas y ajustes que el corte de el adoquín se da de manera en que la grieta en la separación es uniforme y no se desvía.
- ✚ Según los resultados obtenidos, el tamaño compacto y facilidad de uso en una obra, aseguran que la maquina tiene un gran potencial para ser usada, sus costos por unidad superaron las expectativas, pero una construcción en masa reduciría su costo de fabricación y haría la máquina más accesible a las pequeñas y medianas empresas constructoras.

- ✚ El uso de este prototipo es altamente intuitivo para las personas. Además, se ha desarrollado un manual de operación detallado que proporciona instrucciones claras y ordenadas para garantizar un uso óptimo del dispositivo.
- ✚ El manual de operación ha sido cuidadosamente redactado y organizado para que los usuarios puedan comprender rápidamente las funciones y características del prototipo. Se ha estructurado de manera lógica, dividiendo la información en secciones temáticas para facilitar la búsqueda y consulta de los usuarios. Cada paso y procedimiento se ha explicado de forma clara y concisa, utilizando un lenguaje sencillo y evitando terminología técnica excesiva.
- ✚ El manual de operación también aborda posibles problemas o preguntas frecuentes que los usuarios pueden enfrentar, proporcionando soluciones. De esta manera, se garantiza que los usuarios puedan aprovechar al máximo el prototipo, ofreciendo una guía completa y accesible para que las personas puedan utilizar el dispositivo de manera efectiva. Tanto los principiantes como los usuarios experimentados encontrarán en este manual una referencia confiable y fácil de seguir para aprovechar todas las capacidades del prototipo de manera clara y ordenada.

7. Bibliografía

Bibliografía

- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2013). *Sitio web oficial del Instituto Nacional de Vías (INVIAS)*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentacion/documentos-tecnicos/1019-manual-de-diseno-y-construccion-de-pavimentos-urbanos/file>
- American Institute of Steel Construction (AISC). (2017). *Manual of Steel Construction Allowable Stress Design (14th ed.)*. Chicago, IL.
- Beer, F. P, Johnston, E. R, DeWolf, J. T, & Mazurek, D. F. (2015). *Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines*. New York: McGraw-Hill.
- Dirección del Trabajo (Colombia). (n.d.). *Consulta N° 5354/044*. Obtenido de <https://www.dt.gob.cl/legislacion/1624/w3-propertyvalue-157268.html>
- Hibbeler, R. C. (2017). *Mecánica de Materiales*. México: Pearson Educación.
- Jara, P. (n.d. de n.d. de n.d.). *Historia de los adoquines: La evolución del pavimento*. Obtenido de Prefabricadosjara: https://www.prefabricadosjara.com/historia-de-los-adoquines-la-evolucion-del-pavimento/#El_origen_de_los_adoquines
- Ladrillera Santafé. (03 de 01 de 2017). *Santa Fe Comercial*. Obtenido de <https://www.santafe.com.co>
- MatWeb. (n.d.). *MatWeb*. Obtenido de Hoja de datos del material: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=9506f59dc73d41a7ab0da119f6775358&ckck=1>
- Norton, R. L. (2010). *Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines*. New York: McGraw-Hill.
- Pedoe, D. (1988). *Geometry: A Comprehensive Course*. Minnesota: Dover Publications, Incorporated.
- Shigley, J. E. (2006). *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill.
- Sutherland, H. (2009). *Mechanical Springs: Engineering Design Guides*. New York: Elsevier Science.
- Sutherland, H. (2009). *Mechanical Springs: Engineering Design Guides*. New York: Elsevier Science.

Uicker, J. J. (2011). *Theory of Machines and Mechanisms*. Oxford: Oxford University Press.

Zienkiewicz, O. C. (2005). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.

8. Anexos

Anexos en el documento adjunto titulado: "Anexos proyecto cortadora de adoquines "