



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Diseño mecánico de un sistema de separación  
y trituración de cubrebocas KN95**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**INGENIERO MECÁNICO**

**P R E S E N T A**

**ALEJANDRO GUEVARA MALDONADO**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. LEOPOLDO ADRIAN GONZALEZ GONZALEZ**



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Mónica Maldonado y Alejandro Guevara, quienes han sido mi guía y apoyo incondicional en esta y todas las etapas de mi vida, por lo que cualquier logro en mi vida es un logro suyo por consecuencia.

A Teresa Maldonado y Octavio Becerril, quienes me brindaron las herramientas y el afecto necesario para mi crecimiento profesional y personal.

A mi hermana Mónica Guevara, quien ha sido ejemplo e inspiración para alcanzar mis metas.

A mis amigos y familiares, por su ayuda y afecto.

A la UNAM, por haberme permitido crecer y desarrollarme no sólo como estudiante y futuro profesionista sino como ser humano.

A la Facultad de Ingeniería, por forjarme carácter dentro y fuera de sus aulas.

A mis profesores, por proporcionarme las herramientas para adquirir los conocimientos necesarios para desarrollarme como futuro ingeniero.

Al Dr. Leopoldo A. González, a quien quiero expresar mi total gratitud por darme la oportunidad y confianza de formar parte de este proyecto, que más que un profesor y director de tesis, es esa persona que te inspira a seguir esforzándote para alcanzar tus metas.

## Índice

|  |     |
|--|-----|
| Resumen.....   | 10  |
| Abstract.....  | 11  |
| Introducción.....  | 12  |
| <br>   |     |
| I. Investigación bibliográfica.....  | 14  |
| 1.1 Métodos de desinfección.....   | 14  |
| 1.2 Materiales.....  | 24  |
| 1.3 Métodos de trituración.....  | 33  |
| <br>   |     |
| II. Desarrollo del concepto.....   | 44  |
| 2.1 Modelo de caja negra.....  | 44  |
| 2.2 Concepto 1. Sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95.....  | 46  |
| 2.3 Concepto 2. Sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95.....  | 49  |
| 2.4 Formas posibles de reciclar el material triturado.....   | 57  |
| 2.5 Pruebas físicas con prototipos funcionales del Concepto 2, de la configuración del<br>varillaje del sistema de separación..... | 60  |
| <br>   |     |
| III. Diseño de detalle.....  | 72  |
| 3.1 Capacidad de trituración y potencia requerida.....   | 72  |
| 3.2 Diseño del eje de la trituradora.....  | 78  |
| 3.3 Análisis de esfuerzos y desplazamientos de piezas diseñadas.....   | 87  |
| 3.4 Planos de fabricación de piezas diseñadas.....   | 97  |
| <br>   |     |
| IV. Pruebas de funcionamiento y mejoras.....   | 107 |
| <br>   |     |
| V. Costo de materiales y manufactura.....  | 115 |
| <br>   |     |
| VI. Conclusión.....  | 117 |

Bibliografía..... 119

## Lista de imágenes

|  |    |
|--|----|
| Imagen 1. Capa de materiales de cubrebocas KN95.....   | 24 |
| Imagen 2. Clasificación de trituradoras de mandíbula. ....   | 35 |
| Imagen 3. Elementos principales de la trituradora giratoria.....   | 36 |
| Imagen 4. Trituradora cónica “Cono Symons” .....   | 37 |
| Imagen 5. Gráfico de tamaño máximo de alimentación versus tamaño promedio del producto..   | 42 |
| Imagen 6. Clase de trituración a partir del material.....  | 43 |
| Imagen 7. Modelo de caja negra.....  | 44 |
| Imagen 8. Dimensiones generales del cubrebocas KN95.....   | 45 |
| Imagen 9. Bosquejo de los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95, del Concepto<br>1 (vista frontal y lateral).....              | 48 |
| Imagen 10. Bosquejo de los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95 del Concepto<br>1 (vista lateral y frontal con carcasa) ..... | 49 |
| Imagen 11. Bosquejo de los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95 del Concepto<br>2 (vista lateral) .....                       | 51 |
| Imagen 12. Bosquejo de los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95 del Concepto<br>2 (vista frontal).....                        | 52 |
| Imagen 13. Bosquejo del sistema de separación de cubrebocas KN95 del Concepto 2 (vista<br>lateral).....  | 53 |
| Imagen 14. Ladrillos fabricados a partir de residuos textiles.....   | 59 |

|  |    |
|--|----|
| Imagen 15. Taburetes fabricados a partir de residuos de cubrebocas por Kim Ha-neul.....  | 60 |
| Imagen 16. Elementos físicos utilizados como “pesa” .....  | 61 |
| Imagen 17. Báscula previamente calibrada, utilizada para realizar pesaje.....  | 62 |
| Imagen 18. Pruebas con distintos pesos para separar cordón elástico (0.725 kg).....  | 62 |
| Imagen 19. Peso necesario para separar cordón elástico (1.675 kg) .....  | 63 |
| Imagen 20. Toma cercana de la carátula de la báscula con peso final necesario.....   | 63 |
| Imagen 21. Método empleado para realizar pruebas físicas con pesas.....  | 64 |
| Imagen 22. Modelo físico demostrativo para el sistema de separación del Concepto 2.....  | 65 |
| Imagen 23. Disposición del alambre receptor de la liga del cubrebocas.....   | 66 |
| Imagen 24. Toma lateral de la disposición del alambre receptor de la liga del cubrebocas.....                                      | 66 |
| Imagen 25. Elongación máxima de la liga de sujeción del cubrebocas KN95 (24 cm).....   | 67 |
| Imagen 26. Corte de rebabas de bisagras para unir con soldadura.....   | 70 |
| Imagen 27. Unión de varillas y bisagras al ángulo de acero con soldadura y recubrimiento con<br>pintura en aerosol color gris..... | 70 |
| Imagen 28. Comparación de los modelos físicos de pruebas para probar efectividad.....  | 71 |
| Imagen 29. Modelo físico de pruebas del sistema de separación de ligas de sujeción del cubrebocas<br>KN95.....                     | 71 |
| Imagen 30. Índices de trabajo para distintos materiales.....   | 76 |
| Imagen 31. Especificaciones técnicas del motor eléctrico.....  | 78 |

|  |     |
|--|-----|
| Imagen 32. Fuerzas ejercidas sobre el eje.....                     | 81  |
| Imagen 33. Esfuerzos de Von Mises en la cuchilla [MPa] .....       | 88  |
| Imagen 34. Desplazamiento en la cuchilla [mm] .....                | 89  |
| Imagen 35. Esfuerzos de Von Mises en el Housing [MPa] .....        | 90  |
| Imagen 36. Desplazamiento en el Housing [mm] .....                 | 90  |
| Imagen 37. Esfuerzos de Von Mises en el Housing (Tope) [MPa] ..... | 91  |
| Imagen 38. Desplazamiento en el Housing (Tope) [mm] .....          | 91  |
| Imagen 39. Esfuerzos de Von Mises en el Eje [MPa] .....            | 92  |
| Imagen 40. Desplazamiento en el Eje [mm] .....                     | 93  |
| Imagen 41. Esfuerzos de Von Mises en el Engrane [MPa] .....        | 94  |
| Imagen 42. Desplazamientos en el Engrane [mm] .....                | 94  |
| Imagen 43. Esfuerzos en el Cople [MPa] .....                       | 95  |
| Imagen 44. Desplazamientos en el Cople [mm] .....                  | 96  |
| Imagen 45. Plano de fabricación de la Cuchilla.....                | 98  |
| Imagen 46. Plano de fabricación del Housing.....                   | 99  |
| Imagen 47. Plano de fabricación del Housing Tope.....              | 100 |
| Imagen 48. Plano de fabricación del Tope Housing.....              | 101 |
| Imagen 49. Plano de fabricación del Eje 1.....                     | 102 |

|   |     |
|---|-----|
| Imagen 50. Plano de fabricación del Eje 2.....  | 103 |
| Imagen 51. Plano de fabricación del engrane.....  | 104 |
| Imagen 52. Plano de fabricación del Cople, entre engrane y eje.....                       | 105 |
| Imagen 53. Plano de fabricación del Cople, entre eje y rodamiento.....                    | 106 |
| Imagen 54. Posición de cuchillas en la caja trituradora prototipo.....                    | 108 |
| Imagen 55. Primera propuesta de funcionamiento del prototipo.....                         | 109 |
| Imagen 56. Código QR con imágenes y videos del prototipo de la caja trituradora.....      | 110 |
| Imagen 57. Placa de acero con ensamble de ejes y pernos de seguridad en las esquinas..... | 111 |
| Imagen 58. Cubierta caja trituradora.....   | 113 |
| Imagen 59. Diseño final del sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95.....   | 114 |



## Lista de tablas

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Comparación de desinfectantes a partir de sus ventajas y desventajas.....   | 23  |
| Tabla 2. Descripción de materiales por las distintas capas del cubrebocas KN95.....  | 27  |
| Tabla 3. Principales materiales de fabricación del cubrebocas KN95.....  | 28  |
| Tabla 4. Composición química del Aluminio.....   | 29  |
| Tabla 5. Peso del cubrebocas KN95 y tira metálica de Aluminio.....   | 30  |
| Tabla 6. Módulo de elasticidad de los materiales [MPa].....  | 31  |
| Tabla 7. Estimación de peso de cada uno de los materiales con los que esta manufacturado el cubrebocas KN95 en un mes, a partir del porcentaje representativo..... | 32  |
| Tabla 8. Capacidad mínima de almacenamiento de cubrebocas y peso mínimo a triturar por máquina en un día.....  | 33  |
| Tabla 9. Comparación de trituradoras a partir del tamaño final del material triturado.....   | 41  |
| Tabla 10. Ventajas y desventajas de los conceptos 1 y 2 de los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95.....  | 55  |
| Tabla 11. Materiales del cordón elástico para sujeción del cubrebocas KN95.....  | 56  |
| Tabla 12. Resultados de pruebas OK y NOK para sistema de separación de cubrebocas KN95...  | 69  |
| Tabla 13. Costo de materiales para la manufactura del sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95.....  | 115 |
| Tabla 14. Costo de mano de obra por proceso de manufactura.....  | 116 |

## **Resumen**

La situación de crisis sanitaria actual (debido a la enfermedad por covid-19 y sus variantes) han demandado a las personas medidas preventivas muy específicas; una de las principales es el uso obligatorio de cubrebocas en espacios públicos. Esto ha generado diversas problemáticas ambientales, ya que, al ser un elemento considerado de un sólo uso, su desecho no termina en un centro de reciclaje.

La Secretaría de Salud federal ha informado que un cubrebocas –ya sea de grado médico o una mascarilla KN95– tiene un tiempo de vida útil de 8 horas en uso continuo. Este ciclo de vida es muy corto y no regenerativo, por lo que en el presente trabajo se propone desecharlos de tal forma que los materiales, posterior a los procesos descritos más adelante, se reciclen de una manera segura, sustentable y sencilla.

En consecuencia, este documento presenta el proceso de diseño de una máquina descrita por dos principales sistemas: un sistema de separación y un sistema de trituración de los cubrebocas KN95. También se describen las partes que componen a estos sistemas, el proceso de diseño que condujo a la propuesta final, así como las consideraciones detrás de la elección de materiales, elementos comerciales, procesos de manufactura y ensamble. Por último, se propone un análisis para la aplicación de esta propuesta en la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

## **Abstract**

The current health situation (Covid 19 and its variants) has demanded very specific preventive measures, one of the main ones is the mandatory use of face masks in public spaces. This has generated various environmental problems, since as it is considered a single-use item, its disposal does not end up in a recycling center. According to publications from the Ministry of Health of the Government of Mexico, a face mask, either medical grade or a KN95 mask, has a useful life of 8 hours in continuous use. This life cycle is very short and non-regenerative, which is why in this work we propose to dispose of them in a way that the materials, after the processes described below, find a way to recycle them in a safe, sustainable way. And simple.

Consequently, the present work reports the design process of a machine described by two main systems, a separation system and a KN95 mask grinding system. Throughout this document the parts that make up these systems are described, the design process that led to the final proposal, as well as the necessary considerations behind the choice of materials, commercial elements, manufacturing and assembly processes. Finally, in this writing an analysis is proposed for its application in the Faculty of Engineering of the National Autonomous University of Mexico.

## **Introducción**

En diciembre de 2019 inició la propagación de una nueva variante de un virus surgido en el sureste del continente asiático denominado SARS-CoV-2. Debido a su facilidad de contagio, en pocos meses, la enfermedad generada por este virus conocida como covid-19, se convirtió en una pandemia. En meses posteriores, el uso de cubrebocas se hizo imprescindible.

Actualmente, se cuenta con más información acerca del uso y desecho de los cubrebocas y se ha determinado que su tiempo de vida útil es de 8 horas sin haberse mojado y con su uso adecuado es una de las formas más eficientes para prevenir el contagio del virus SARS-CoV-2. Sin embargo, el reciclaje de cubrebocas es un tema aún en desarrollo, por lo que el objetivo de este proyecto es, explicar una forma para transformar los desechos en materiales triturados, y así emplearlos como una posible materia prima para nuevos productos, mediante el diseño y desarrollo de una serie de sistemas mecánicos que permitan dicha transformación de forma segura, realizando mejoras tras fabricar un prototipo funcional.

Para cumplir este objetivo, la planeación del presente trabajo se divide en tres partes generales que, a continuación, se describen:

- Investigación bibliográfica: métodos o productos de desinfección eficientes, tipo de materiales por trabajar y métodos de trituración.
- Diseño: una vez realizada la investigación, comienza el desarrollo de conceptos de los sistemas requeridos, diseño a nivel sistema, diseño de detalle, pruebas y refinamiento del diseño.
- Manufactura: fabricación y ensamble de todos los elementos que componen al sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95 en un prototipo funcional.

Además, se realiza una serie de propuestas de posible transformación de los materiales triturados con la finalidad de reducir los índices de contaminación y reciclar los desechos, lo que convierte a éste en un proyecto sustentable, donde los principales pilares son los entornos medioambiental, social y económico.

Esto es posible visualizarlo al momento de buscar reducir el índice de desechos contaminantes, contribuyendo al cuidado del entorno natural y logrando la concientización en las personas acerca de la importancia sobre el uso de mascarillas para disminuir el número de contagios y el interés de más población en la búsqueda de nuevas posibles soluciones para reciclar los desechos generados por nosotros mismos.

Por último, dentro de las propuestas para reciclaje de los materiales triturados se encuentra la búsqueda de colaboraciones con empresas dedicadas a la industria textil que elabore productos a partir de desechos plásticos generados en el país. Con ello, se demostraría la forma en la que el proyecto sea costeable e, inclusive, incremente los parámetros de diseño de los sistemas para tener una mayor capacidad de separación y trituración de los materiales que se describen en este trabajo.

## **I. Investigación bibliográfica**

Previo a la propuesta de ideas de diseño para la construcción del sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95, se realizó una investigación bibliográfica que se dividió principalmente en tres partes, mismas que a continuación se describen:

- Métodos de desinfección.
- Materiales por triturar.
- Métodos de trituración.

### **1.1 Métodos de desinfección**

Se investigó una serie de artículos donde se especifica el tipo de residuos con los que se trabaja y cómo se puede garantizar un uso seguro de éstos, pues todo señala que se tratan de residuos infecciosos (véase el siguiente extracto de información).

#### **Coronavirus. ¿Qué son los residuos infecciosos y cómo deben tratarse para no generar riesgos?**

[...]

##### *Residuos patológicos y no anatómicos*

Es infeccioso el material desechable utilizado para contener, transferir, inocular o mezclar cultivos de microorganismos como virus, bacterias, hongos o parásitos. Están los materiales no anatómicos, es decir, los desechables contaminados con residuos peligrosos como gasas, guantes, cubrebocas, hisopos, tubos de muestras sanguíneas y batas, explica la química farmacobióloga María Isabel Arce Camacho, responsable del Departamento de Gestión de Bioseguridad de la Facultad de Medicina de la UNAM.

De acuerdo con los lineamientos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, para que un microorganismo sea un agente biológico infeccioso debe de estar en una concentración suficiente (inóculo), en un ambiente propicio (supervivencia), en presencia de una vía de entrada, y en un hospedero susceptible. (Pérez, Isabel (2020). Coronavirus. ¿Qué son los residuos infecciosos y cómo deben tratarse para no generar riesgos?, UNAM, Ciencia UNAM. Recuperado de: <http://ciencia.unam.mx/leer/1001/coronavirus-que-son-los-residuos-infecciosos-y-como-deben-tratarse-para-no-generar-riesgos->).

A continuación, se exponen fragmentos de la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, donde se explica en qué consiste dicha norma. Y en caso de que los residuos con los que se trabajan tengan las características que establece la norma, ésta nos menciona cómo deben ser resguardados y manipulados los materiales para cumplir con lo establecido.

**La NOM 087-SEMARNAT-SSA1-2002 emitida por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y por la Secretaría de Salud,** establece los lineamientos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los RPBI. Esto con la finalidad de que el personal médico y de apoyo estuviera más seguro al realizar sus actividades y así evitar accidentes o contaminación derivada del mal manejo de estos residuos.

#### **Agente biológico-infeccioso**

Cualquier microorganismo capaz de producir enfermedades cuando está presente en concentraciones suficientes (inóculo), en un ambiente propicio (supervivencia), en un hospedero susceptible y en presencia de una vía de entrada.

### **Residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI)**

Son aquellos materiales generados durante los servicios de atención médica que contengan agentes biológico-infecciosos según son definidos en esta Norma, y que puedan causar efectos nocivos a la salud y al ambiente.

Los residuos biológico-infecciosos envasados deberán almacenarse en contenedores metálicos o de plástico con tapa y ser rotulados con el símbolo universal de riesgo biológico, con leyenda “RESIDUOS PELIGROSOS BIOLOGICO-INFECCIOSOS”.

El periodo de almacenamiento temporal estará sujeto al tipo de establecimiento generador, como sigue:

- a) Nivel I: Máximo 30 días, unidades hospitalarias de 1 a 5 camas e instituciones de investigación con excepción de los señalados en el Nivel III, laboratorios clínicos y bancos de sangre que realicen análisis de 1 a 50 muestras al día, unidades hospitalarias psiquiátricas y centros de toma de muestras para análisis clínicos.
- b) Nivel II: Máximo 15 días, unidades hospitalarias de 6 hasta 60 camas, laboratorios clínicos y bancos de sangre que realicen análisis de 51 a 200 muestras al día, bioterios que se dediquen a la investigación con agentes biológico-infecciosos, o establecimientos que generen de 25 a 100 kilogramos al mes de RPBI.
- c) Nivel III: Máximo 7 días, unidades hospitalarias de más de 60 camas, centros de producción e investigación experimental en enfermedades infecciosas, laboratorios clínicos y bancos de sangre que realicen análisis a más de 200 muestras al día, o establecimientos que generen más de 100 kilogramos al mes de RPBI.

A partir del Manual de Procedimientos de RPBI de la Secretaría de Salud, éstos deben ser tratados por métodos físicos o químicos que garanticen la eliminación de microorganismos patógenos.



Así, son sometidos a un procedimiento físico o químico al que se somete un residuo peligroso con el fin de eliminar las características infecciosas, el método de tratamiento debe garantizar la eliminación de microorganismos patógenos y hacer irreconocible a los residuos para su posterior disposición final. (Semarnat, 2003).

Una vez que se revisó con qué tipo de residuos se trabaja, se procedió a realizar una investigación de métodos de desinfección aprobados por instituciones de la salud, o bien, departamentos dedicados a la investigación científica.

El siguiente artículo publicado por la UNAM en una de sus plataformas digitales habla acerca de una serie de desinfectantes eficaces para prevenir la propagación del virus:

**COMISIÓN UNIVERSITARIA PARA LA ATENCIÓN DE LA EMERGENCIA  
CORONAVIRUS (Publicado el 25 Abril del 2020)**

**<https://covid19comision.unam.mx/?p=84833>**

**The Journal of Hospital Infection / Traducción: Mtra. Brenda Terrazas**

Se ha postulado que la transmisión del coronavirus puede darse por el contacto con superficies secas contaminadas mediante autoinoculación, esto es, tocarse las membranas mucosas de la nariz, los ojos o la boca, con las manos.

Por ello, investigadores del Departamento de Medicina Molecular y Virología de la Universidad del Ruhr de Bochum (RUB) en Alemania, realizaron una exhaustiva revisión de toda la información disponible sobre la persistencia de coronavirus humanos y veterinarios en superficies inanimadas, así como las estrategias de inactivación con agentes biocidas utilizados para la desinfección química.

El análisis reveló que los coronavirus humanos como el Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SARS), el Síndrome Respiratorio del Medio Oriente (MERS), o los endémicos (HCoV); así

como los coronavirus veterinarios como el Virus de la Gastroenteritis Transmisible (TGEV), el Virus de la Hepatitis de Ratón (MHV) y el coronavirus canino (CCV), pueden persistir en superficies inanimadas como metal, vidrio o plástico hasta por nueve días.

En esas superficies puede inactivarse el coronavirus de manera eficiente con procedimientos de desinfección con etanol al 62-71%, peróxido de hidrógeno al 0.5% (también conocido como agua oxigenada, óxido de agua o dioxidano), o hipoclorito de sodio al 0.1% (cuya disolución en agua se conoce como lejía, cloro o lavandina) en un tiempo de exposición de 1 minuto.

Fuente: "Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents, Published: February 06, 2020, THE JOURNAL OF HOSPITAL INFECTION AND HEALTHCARE INFECTION SOCIETY".

Cabe mencionar que *The Journal of Hospital Infection* es el diario oficial de la *Healthcare Infection Society*, y ésta última tiene el objetivo de fomentar el avance del conocimiento y la educación de todos aquellos que tienen interés en el campo de las infecciones de la salud; además, es una organización benéfica registrada en Inglaterra y Gales.

Los procedimientos de desinfección antes mencionados son respaldados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) que impulsa decisiones basadas en evidencia para mejorar la salud y promueve la salud como motor del desarrollo sostenible. "La OPS viste dos sombreros institucionales que es la agencia especializada en salud del Sistema Interamericano y sirve como la oficina regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud (OMS)" (OPS, 2022).

Dentro de los artículos publicados en su plataforma digital, se encuentra un manual para esterilización de instrumentos, pero, a su vez, éste contiene un apartado específico de desinfectantes del cual se muestran a continuación algunos de los más relevantes, avalados por la OPS.

### **Peróxido de hidrógeno**

El peróxido de hidrógeno es un agente utilizado para DAN.

Mecanismo de acción: Su acción antimicrobiana se ejerce por la producción de radicales libres de hidroxilos que dañan las membranas lipídicas, el DNA y otros componentes celulares.

Espectro: Bactericida, fungicida, virucida y esporicida en concentraciones del 6% al 7%.

Ventajas y desventajas: No dañan lentes ni artículos de plástico. Es oxidante para artículos metálicos. Presenta toxicidad ocular y también puede producir colitis pseudomembranosa por mal enjuague en la DAN.

Indicaciones de uso: Está indicado en el uso de DAN para endoscopios por su compatibilidad con este material.

Concentraciones de uso: Su presentación varía entre 3% a 7.5%. Para realizar la desinfección de alto nivel la indicación es de 6% a 7.5% durante 30 minutos. La solución puede utilizarse durante 21 días.

Fuente: Acosta-Gnass, Silvia I. (2008). Manual de esterilización para centros de salud, pp. 58-66.

Recuperado el 1 de julio de 2021, de:  
<https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/797/9789275329269.pdf?sequence=1&isAllowed=>  
y.

### **Cloro y compuestos clorados**

Los desinfectantes basados en el cloro generalmente están disponibles en forma líquida como hipoclorito de sodio (lejía), o sólida como hipoclorito de calcio (dicloroisocianurato de sodio).

Mecanismo de acción: Su acción produce inhibición de las reacciones enzimáticas, desnaturalización de las proteínas e inactivación de los ácidos nucleicos.

Espectro: Virucida, fungicida, bactericida (micobactericida).

Ventajas y desventajas: Su acción es rápida, de bajo costo y de fácil manejo. Tiene propiedades desodorizantes y actividad microbicida atribuible al ácido hipocloroso no dissociado. La disociación de este ácido, y por consiguiente la menor actividad, depende del pH. Su eficiencia disminuye por el aumento del pH. Tiene actividad corrosiva, se inactiva en presencia de materia orgánica, produce irritación de las mucosas, se polimeriza por los rayos de sol y necesita estar protegida en envases opacos. Las soluciones de cloro no deben conservarse en envases destapados por más de 12 horas debido a la evaporación del producto activo, haciendo que las concentraciones de cloro disponible disminuyan de 40% a 50%.

Concentraciones de uso: La concentración mínima para eliminar las micobacterias es de 1000 ppm (0.1%) durante 10 minutos. No deben sumergirse objetos por más de 30 minutos debido a su actividad corrosiva. Se recomienda, además, el enjuague abundante para evitar irritación química debido a los posibles residuos. Es importante señalar que existen muchos factores que afectan la estabilidad del cloro, tales como la presencia de iones pesados, pH de la solución, temperatura de la solución, presencia de biofilmes, presencia de materias orgánicas y radiación ultravioleta.

Fórmula para preparar una solución de hipoclorito:

$$Cc = \text{litros de agua} \times \text{ppm} / \text{Concentración de compra}$$

Donde:

Cc: centímetros cúbicos de hipoclorito de sodio a la preparación

Litros de agua: cantidad de solución final a preparar.

Ppm: partes por millón (concentración final a preparar).

Concentración de compra: casera (5.25%), concentrada (10%) o piscinas (12%).

Concentraciones de uso en el ámbito hospitalario:

10.000 ppm = 1% = Concentración para desinfección de derrames, previa limpieza.

5.000 ppm = 0.5% = Desinfección de materiales, previa limpieza.

1.000 ppm = 0.1% = Desinfección de áreas críticas, previa limpieza.

100 a 500 ppm = 0.01 a 0.05% = Desinfección de áreas no críticas.

Fuente: Acosta-Gnass, Silvia I. (2008). Manual de esterilización para centros de salud, pp. 58-66.

Recuperado el 1 de julio de 2021, de:  
<https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/797/9789275329269.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Además de los fragmentos tomados del manual, dentro de los artículos publicados por la OPS se muestra a continuación otro fragmento, de un artículo publicado por la Universidad de Cambridge, Inglaterra, donde se avalan los cinco desinfectantes más efectivos para distintas pruebas de virus realizadas, donde dentro de esas, se encuentra el virus del tipo SARS, por lo que el artículo es aplicable para el caso que aquí se expone.

Utilizando un criterio de eficacia de 3 log10 solo los siguientes cinco desinfectantes demostraron ser efectivos contra los cuatro virus probados:

(1) 2% de glutaraldehído normalmente utilizado como remojo de instrumentos.

(2) una mezcla fuertemente alcalina de 0.5% de o-bencil-p-clorofenato de sodio y

0.6% Lauril sulfato de sodio, generalmente utilizado como limpiador desinfectante doméstico para superficies duras.

(3) una solución al 0.04% de un compuesto de amonio cuaternario que contiene ácido clorhídrico al 7%, que es la base de muchos limpiadores de inodoros.

(4) Cloraminc T a un nivel mínimo de cloro libre de 3000 p.p.m.

(5) Hipoclorito de Sodio a una concentración mínima de cloro libre de 5000 p.p.m. (S. A. Sattar,

V. S. SPR1XGTHORPE, Y. Karim and P. Loro (1989).

Finalmente, la tabla 1 muestra tres desinfectantes eficientes e indica cuáles son las ventajas y desventajas de cada uno de éstos.

| <b>Compuesto</b>             | <b>Ventaja</b>  | <b>Desventaja</b>  |
|------------------------------|---|--|
| <b>Orthophthaldehído</b>     | Alto nivel de desinfección y excelente compatibilidad con cualquier material. | No se ha determinado si puede producir irritación en los ojos, orificios nasales, debe utilizarse en ambientes controlados a 20 °C de 10 a 12 minutos y muestra elevado costo. |
| <b>Peróxido de hidrógeno</b> | Bactericida, fungicida, viricida y esporicida en concentraciones de 6% a 7%.  | Es oxidante para artículos metálicos, presenta toxicidad ocular y en caso de ingestión por accidente puede producir colitis pseudomembranosa por mal enjuague.                 |

|                             |  |   |
|-----------------------------|--|---|
| <b>Hipoclorito de sodio</b> | Viricida, fungicida, bactericida (microbactericida). Su acción es rápida, de bajo costo y de fácil manejo.<br>En concentraciones adecuadas logra alto nivel de desinfección (5000ppm). | Produce irritación de las mucosas, se polimeriza por los rayos de sol y necesita estar protegida en envases opacos.<br>Su eficiencia disminuye por el aumento del pH. |
|-----------------------------|--|---|

*Tabla 1. Comparación de desinfectantes a partir de sus ventajas y desventajas.*

Después de revisar los artículos antes mencionados y con ayuda de la información de la tabla 1, es posible concluir que el cloro, a pesar de ser una sustancia que puede generar problemas en la salud si no se manipula con las indicaciones adecuadas, es un compuesto que es fácil de adquirir, puede encontrarse en cualquier tienda de conveniencia o de productos para la limpieza, es de bajo costo y, preparando la concentración adecuada avalada por estudios de universidades y organizaciones de la salud, es un desinfectante efectivo para el uso que se necesita.

## 1.2 Materiales por triturar

El cubrebocas KN95 está formado por cinco, capas como se muestra en la imagen 1:

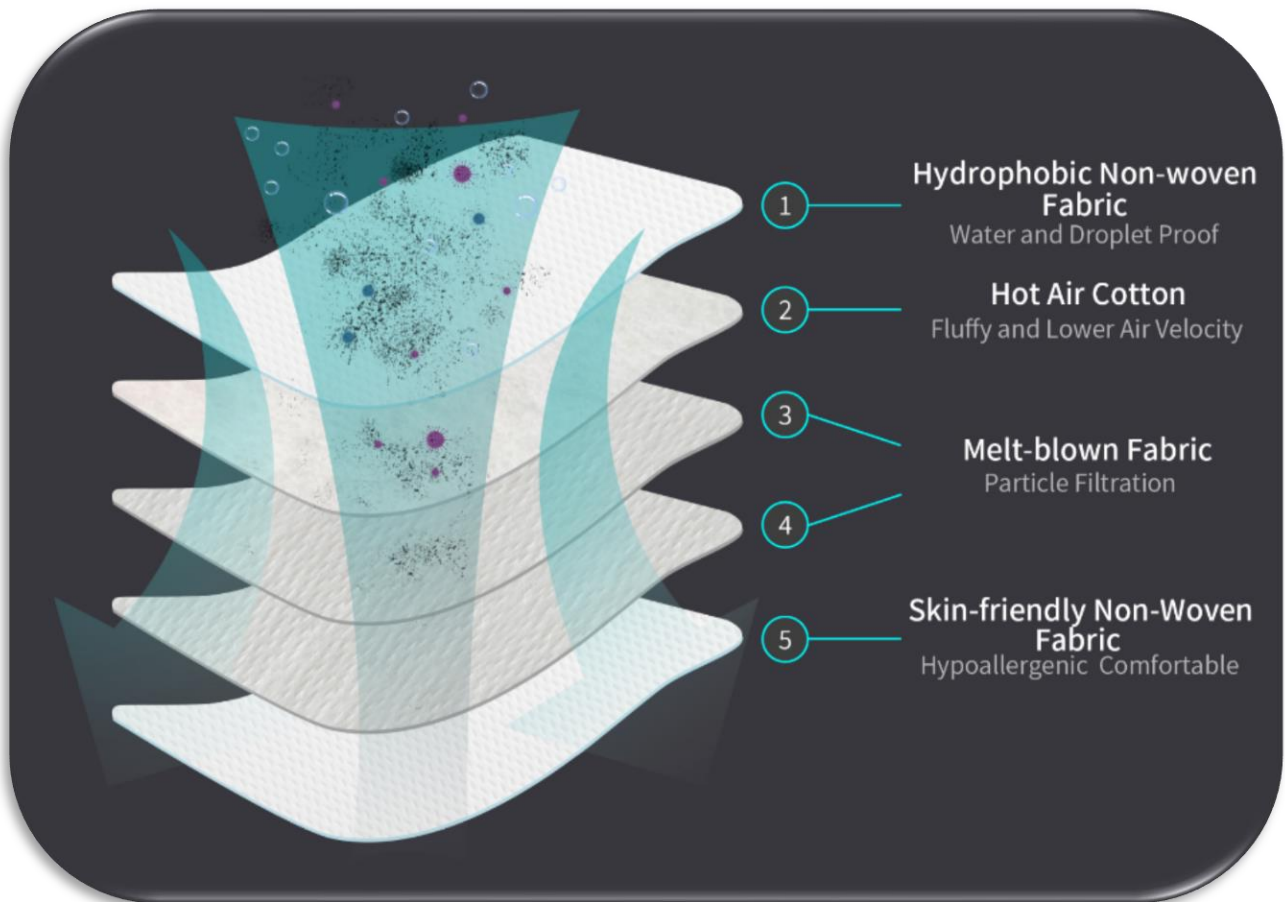


Imagen 1. Capa de materiales de cubrebocas KN95. Fuente: 3M Science. Applied to  
life <https://www.acsmaterial.com/kn95-respirator-face-mask.html>.



En la tabla 2, se desglosa la descripción de cada una de las capas que componen el cubrebocas y se describe específicamente bajo qué procesos y qué tipo de materias primas son las que se utilizan para manufacturarlo.

Cabe mencionar que en la sección de “Material”, se nombra cada uno de éstos de forma general, o bien, como son conocidos a nivel comercial, ya que el nombre que recibe en el mercado de materiales va orientado al proceso por el que son fabricados. Posteriormente, en la tabla 3, se nombran los materiales específicamente por la materia prima que conforma la capa.

| <b>Capa</b> | <b>Material</b>             | <b>Descripción</b>   |
|-------------|-----------------------------|--|
| <b>1</b>    | Tela hidrofóbica no tejida. | <p>Esta tela la componen una fibra sintética (poliéster) y fibras artificiales (rayón y algodón). El poliéster tiene cadenas hidrocarbonadas que contienen uniones éster (de ahí su nombre), la estructura se denomina poli (etilén tereftalato) o PET para abreviar, porque se compone de grupos etileno y grupos tereftalato.</p> <p>El rayón, por su parte, es un polímero que se encuentra en la naturaleza por lo que es una fibra artificial; se obtiene de la celulosa de árboles como el abeto, el pino y la cicuta.</p> <p>Finalmente, el algodón es una fibra artificial y se obtiene de la celulosa de una semilla (es una planta dicotiledónea).</p> |

|             |   |  |
|-------------|---|--|
| <b>2</b>    | Algodón de aire caliente.                     | Es un tipo de fibra compuesta termoadhesiva. Es la abreviatura de <i>Ethylene-Propylene Side By Side</i> , en inglés, y se refiere al nombre de las materias primas. El aire caliente describe un proceso en el que, después de cardar la fibra, el aire caliente del equipo de secado penetra en la red de fibra y la calienta para unir la tela no tejida resultante.  |
| <b>3, 4</b> | Tejido fundido para filtración de partículas. | Hilo de polipropileno directamente colocado en una red y unido térmicamente. El polipropileno es un termoplástico que es obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Todo esto desarrollado en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión.   |
| <b>5</b>    | Tela hipoalergénica para piel.                | <p>Los textiles <i>non woven</i> o no tejidos son una hoja dispuesta en una red de fibras unidas por procedimiento mecánico, térmico o químico donde se excluye el papel y está adherida entre sí, utilizando diferentes métodos. Se puede agregar un adhesivo, fusionar con fibras con calor (laminado caliente), disolver y resolidificar la superficie, crear marañas o mechones en las fibras.</p> <p>Se fabrica extruyendo fibra de polímero fundido a través de un troquel lineal que contiene varios cientos de pequeños orificios para formar fibras largas y delgadas que se estiran y enfrían al pasar aire caliente a medida que caen del troquel</p> |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | lineal; luego se sopla la tela resultante una pantalla colectora que forma telas no tejidas autoadhesivas con filtro fino. |
|--|--|--|

*Tabla 2. Descripción de materiales acorde con las distintas capas del cubrebocas KN95.*

La tabla 3 muestra de forma específica el tipo de material por el que está compuesto el cubrebocas y cómo es que se conoce la materia prima de forma comercial.

| <b>Capa</b> | <b>Especificación</b>   |
|-------------|---|
| <b>1</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fibra sintética: tereftalato de polietileno (<b>PET</b>).</li> <li>• Fibra artificial: rayón (<b>celulosa</b>).</li> <li>• Fibra artificial: algodón (<b>celulosa</b>).</li> </ul> |
| <b>2</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fibra sintética: etileno-propileno (<b>caucho</b>).</li> <li>• Fibra artificial: algodón (<b>celulosa</b>).</li> </ul>   |
| <b>3,4</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propileno (polimerizado da lugar al <b>polipropileno</b>).</li> </ul>  |

|          |   |
|----------|---|
| <b>5</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Fibra sintética: tereftalato de polietileno (<b>PET</b>).</li><li>• Fibra artificial: rayón (<b>celulosa</b>).</li><li>• Propileno: (<b>polipropileno</b>).</li><li>• Policaprolactona: (<b>nylon</b>).</li><li>• Monómero de etileno: (<b>polietileno</b>).</li><li>• Fibra sintética: tereftalato de polietileno mezclado con mono etilenglicol (<b>poliéster</b>).</li></ul> |
|----------|---|

*Tabla 3. Principales materiales de fabricación del cubrebocas KN95.*

A partir de las descripciones generales del producto, se tiene en las especificaciones técnicas, que los principales materiales por los que esta compuesto el cubrebocas son:

- 40% Tela hidrofóbica no tejida.
- 30% Tejido fundido para filtración de partículas.
- 30% Algodón de aire caliente.

El cubrebocas KN95 cuenta con una tira metálica de aleación de aluminio 6063 que ayuda a la sujeción de éste a la nariz y debido a que se planea triturar en conjunto con el resto del cubrebocas, es relevante conocer cuáles son los principales elementos que componen la aleación, tal como se muestra a continuación, en la tabla 4.

| <b>Elemento</b>  | <b>% mínimo</b> | <b>% máximo</b> |
|------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Magnesio</b>  | 0.45            | 0.9             |
| <b>Silicio</b>   | 0.2             | 0.6             |
| <b>Hierro</b>    | 0               | 0.35            |
| <b>Cobre</b>     | 0               | 0.1             |
| <b>Manganeso</b> | 0               | 0.1             |
| <b>Cromo</b>     | 0               | 0.1             |
| <b>Zinc</b>      | 0               | 0.1             |
| <b>Titanio</b>   | 0               | 0.1             |
| <b>Aluminio</b>  | Resto           |                 |

*Tabla 4. Composición química del aluminio. Fuente: Teknica4.com (s/f), "Aluminio 6063",  
recuperado de: <https://www.teknika4.com/es/aluminio-6063>.*

Si se considera una población de veinte mil personas entre alumnos, profesores, personal de limpieza y vigilancia que transita diariamente en la Facultad de Ingeniería de la UNAM y contemplando que únicamente 10% de la población de la facultad tira su cubrebocas por cuestiones de limpieza y recomendaciones de uso, se obtiene que:

$20,000 \times 0.1 = 2,000$  cubrebocas que se deshechan diariamente.

Periodo contemplado: lunes a viernes:

$2,000 \times 5 = 10,000$  cubrebocas se desechan a la semana.

Se estima que 44,000 cubrebocas se desechan al mes.

Se planea distribuir cinco máquinas dentro de las instalaciones que forman parte de la Facultad de Ingeniería, por lo que la capacidad mínima de almacenamiento y trituración de las máquinas es de por lo menos:

$$2,000 / 5 = 400 \text{ cubrebocas diarios por máquina.}$$

Después de obtener el peso del cubrebocas KN95 de forma experimental, se obtuvieron los siguientes resultados:

| <b>Objeto</b>                               | <b>Peso (kg)</b> |
|---|------------------|
| <b>Cubrebocas KN95 sin tira de aluminio</b> | 0.011            |
| <b>Tira metálica de aluminio</b>            | 0.001            |

*Tabla 5. Peso del cubrebocas KN95 y tira metálica de aluminio.*

Con los datos obtenidos sobre el tipo de materiales con los que está manufacturado el cubrebocas KN95 se puede concluir que:

- 40% incluyen PET.
- 30% incluyen polipropileno.
- 20% incluyen algodón y caucho.
- 10% incluyen aluminio 6063.

El módulo de elasticidad de los materiales comerciales se muestran en la tabla 6; son elementos importantes para posteriormente realizar una elección de materiales para el diseño de las cuchillas de la trituradora y potencia necesaria para el proceso.

Destaca mencionar que estos son materiales dúctiles (propiedad para deformarse plásticamente sin romperse) y tenaces (propiedad que consiste en la capacidad de absorber energía de deformación en grandes cantidades, antes de sufrir roturas).

| <b>Material</b>      | <b>Módulo de elasticidad (MPa)</b> |
|----------------------|------------------------------------|
| <b>PET</b>           | 3.2                                |
| <b>Polipropileno</b> | 1.55                               |
| <b>Poliéster</b>     | 4.41                               |
| <b>Nylon</b>         | 3.79                               |
| <b>Aluminio 6063</b> | 69500                              |

*Tabla 6. Módulo de elasticidad de los materiales [MPa].*

Finalmente, a partir de los porcentajes de materiales del cubrebocas y el peso de éste, se obtiene la información de la tabla 7, que indica la capacidad mínima para los sistemas de separación y trituración de cubrebocas por máquina.

| <b>Materia prima</b>    | <b>Porcentaje (%)</b> | <b>Peso de cada material para 1 cubrebocas (kg)</b> | <b>Peso total si se estiman mínimo 8,800 cubrebocas al mes, por cada máquina (kg)</b> |
|-------------------------|-----------------------|---|---|
| <b>PET</b>              | 40%                   | 0.0048  | 42.24   |
| <b>Polipropileno</b>    | 30%                   | 0.0036  | 31.68   |
| <b>Algodón y caucho</b> | 20%                   | 0.0024  | 21.12   |
| <b>Aluminio 6063</b>    | 10%                   | 0.0012  | 10.56   |
| <b>TOTAL</b>            |                       |   | 105.6   |

*Tabla 7. Estimación de peso de cada uno de los materiales con los que está manufacturado el cubrebocas KN95, en un mes, a partir del porcentaje representativo.*

Se puede concluir que, si se consideran únicamente 5 días de la semana, al dividir los 105.6 kg totales del mes entre 22 días, cada máquina debe tener la capacidad de almacenar y de triturar por lo menos 4.8 kg de cubrebocas KN95, de acuerdo con lo que se muestra en la tabla 8.

| <b>Número de máquina</b> | <b>Cantidad de cubrebocas diarios</b> | <b>Capacidad mínima diaria si cada cubrebocas tiene un peso de 0.012 (kg)</b> |
|--------------------------|---------------------------------------|---|
| <b>Máquina 1</b>         | 400                                   | 4.8   |
| <b>Máquina 2</b>         | 400                                   | 4.8   |
| <b>Máquina 3</b>         | 400                                   | 4.8   |
| <b>Máquina 4</b>         | 400                                   | 4.8   |



|                  |       |     |
|------------------|-------|-----|
| <b>Máquina 5</b> | 400   | 4.8 |
| <b>TOTAL</b>     | 2,000 | 24  |

*Tabla 8. Capacidad mínima de almacenamiento de cubrebocas y peso mínimo a triturar por máquina en un día.*

### 1.3 Métodos de trituración

El triturado es también el nombre del proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia; además, se refiere a la producción de un material homogéneo. La trituración convierte la producción de residuos de posconsumo en un material a granel (material molido, partículas) lo más homogéneo posible.

El procedimiento de trituración es necesario antes de que se efectúen los siguientes pasos del proceso, tanto para obtener nuevos materiales, como combustibles secundarios. En numerosas técnicas, la trituración representa el desarrollo fundamental a partir del cual se realizan los procesos de tratamiento posteriores. Debido a la amplia variedad de materiales que pueden ser triturados, las máquinas acostumbran a ofrecer un alto grado de flexibilidad.

Tipos de trituración:

- Primaria.
- Secundaria.

### 4.3.1 Trituración primaria

La trituración primaria reduce normalmente el tamaño de los trozos de mineral a un valor comprendido entre 8" a 6". Luego, los productos obtenidos se criban en un tamiz vibrante con objeto de separar aquellas partículas cuyo tamaño ya es lo suficientemente fino, con el consiguiente aumento en la capacidad de las trituradoras secundarias. Ésta se lleva a cabo normalmente en trituradoras de mandíbulas o en trituradoras giratorias.

Las *trituradoras de mandíbulas* constan normalmente de dos planchas de acero al manganeso o mandíbulas, colocadas una frente a la otra, de las cuales una es fija y la otra es móvil y pueden girar sobre un eje situado en su parte superior o inferior. Mediante un dispositivo adecuado, se comunica a la mandíbula móvil un movimiento de oscilación alternativo hacia adelante y hacia atrás, de corto recorrido.

El material se carga en el espacio comprendido entre las mandíbulas y, de ellas, la móvil, en su recorrido hacia adelante, aplasta los trozos contra la fija. Al retroceder la mandíbula móvil, el material triturado cae por la abertura que en la parte inferior forman las mandíbulas.

En función de la ubicación del punto de balanceo de la mandíbula móvil (punto de pivote) en dichas trituradoras se clasifican en:

- Trituradora tipo Blake: fijada en el punto más alto en el área de alimentación de la máquina.
- Trituradora tipo Dodge: fijada en el punto más bajo en el área de descarga de la máquina.
- Trituradora tipo Universal: fijada en el punto medio de la máquina.

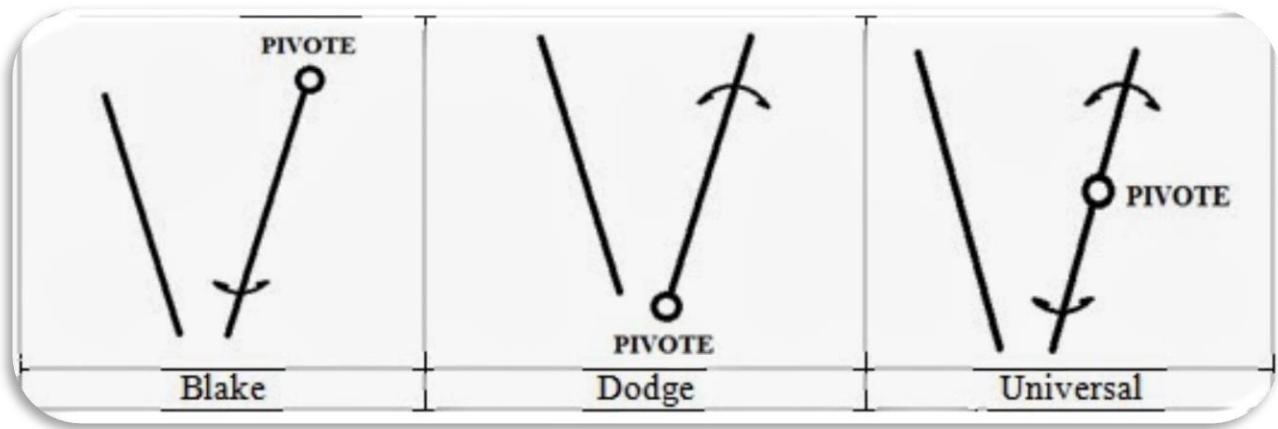
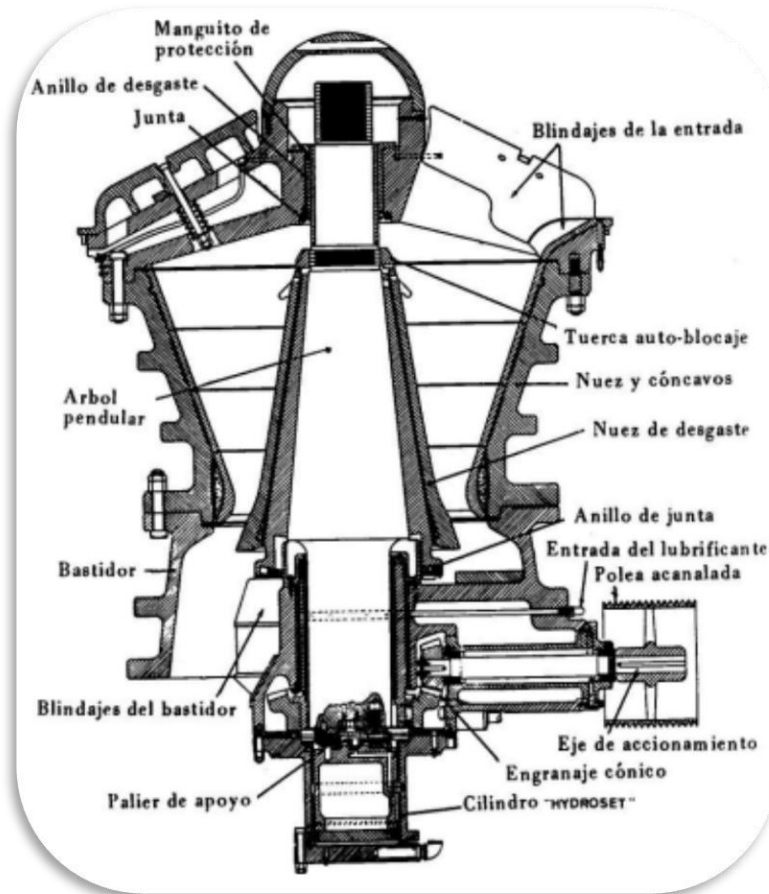


Imagen 2. Clasificación de trituradoras de mandíbula. Fuente: Apuntes de ingeniería mecánica (2014). "Trituradoras mandíbulas I", recuperado de: <https://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/01/trituradoras-quijadas-i.html?m=0>.

Por su parte, en las *trituradoras giratorias* los materiales para triturar se reducen por compresión entre una pared cónica fija denominada cóncavo, y un tronco de cono móvil identificado como nuez o cabeza, que está dotado de un movimiento excéntrico en el interior del espacio limitado por ambas superficies. El cono móvil, en su desplazamiento de giro excéntrico en uno de los extremos, se acerca a cada una de las generatrices de la pared cónica fija y después se aleja, sometiendo al material a sucesivas compresiones y liberaciones de presión.

El material en el interior circula por gravedad a una zona inferior donde será sometido a una nueva compresión. La fuerza dominante es la compresión existiendo en menor grado acciones de flexión y de abrasión por el efecto de giro relativo de la nuez, y el cóncavo y las acanaladuras de las protecciones.

Los elementos principales que constituyen una trituradora giratoria son los que se muestran en la imagen 3:



*Imagen 3. Elementos principales de la trituradora giratoria. Fuente: Emilio Andrea Blanco (s/f). "Bloque II-Capítulo 7. Trituración", Universidad de Cantabria, recuperado de: [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/7.\\_trituracion.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/7._trituracion.pdf).*

### 4.3.2 Trituración secundaria

En la trituración secundaria, el tamaño de las partículas se reduce a un valor comprendido entre 3" y 2". Las trituradoras utilizadas en esta fase son, por lo general, del tipo giratorio o cónico. Estas son similares a las utilizadas en la trituración primaria, y se diferencian únicamente porque trabajan a velocidades relativamente altas (aproximadamente 500 r.p.m.) y en que la abertura de salida de los productos triturados es mucho menor.

La *trituradora cónica*, por la forma del cóncavo y la nuez, tiene una menor capacidad de producción y su diseño es del tipo como Symons que se muestra en la imagen 8. La nuez, parte giratoria del equipo, va apoyada en su parte inferior y el extremo superior del eje directriz de la nuez, en su extremo superior, oscila libremente y lleva usualmente un plato que hace la labor de distribuidor de la carga en toda la circunferencia de la boca de alimentación. La descarga, por el diseño de cóncavo y nuez, es prácticamente paralela –tal como se ve en el esquema de un cono Symons–. La excentricidad es mayor que en los equipos que hacen la trituración primaria, pero también en las r.p.m., consiguiendo así que ninguna partícula pueda salir sin ser triturada en la parte recta de la descarga.



*Imagen 4. Trituradora cónica "Cono Symons". Fuente: Emilio Andrea Blanco (s/f).*

*"Bloque II-Capítulo 7. Trituración", Universidad de Cantabria, recuperado de:*

*[https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/7.\\_trituracion.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/7._trituracion.pdf).*

Existen dos tipos fundamentales de trituradoras giratorias: las denominadas de eje vertical y apoyo superior, y las de eje vertical y apoyo inferior.

La *trituradora de eje vertical y apoyo superior* cuenta con una mandíbula fija anular, con sus correspondientes placas de trituración y una mandíbula móvil en forma de cono, con la base en la parte inferior. El cono triturador va montado sobre un eje vertical que tiene una articulación en su parte superior. La parte inferior del eje va montada excéntricamente a una corona dentada, la que gira merced al accionamiento de un motor, a través de un eje y un piñón.

Por su parte, la *trituradora de eje vertical y apoyo inferior* cuenta con una mandíbula fija y con un cono triturador en forma de hongo que va montado sobre un eje que se encuentra ligeramente inclinado respecto a la vertical. En la parte inferior, el eje se apoya sobre una corona que gira por la acción de motor acoplado a un piñón. La inclinación del eje hace que el cono triturador se acerque y se aleje de la mandíbula fija y, de esta forma, puede triturar.

La boca de entrada está en la parte superior y la de salida del material en la inferior. Estas trituradoras se utilizan para efectuar la trituración secundaria y terciaria.

Industrialmente se utilizan diferentes tipos de máquinas de trituración y suelen clasificarse de acuerdo con la etapa en la que se utilizan y el tamaño de material tratado.

### **4.3.3 Trituradoras primarias**

Éstas fragmentan trozos grandes hasta un producto de 8" a 6". Hay tres tipos de máquinas:

- Trituradoras de mandíbulas.
- Trituradoras giratorias.
- Trituradoras de impacto.

#### **4.3.4 Trituradoras secundarias**

Por su parte, las trituradoras secundarias fragmentan el producto de la trituración primaria hasta tamaños de 3" a 2". Entre estas máquinas se encuentran:

- Trituradoras giratorias.
- Trituradoras cónicas.

#### **4.3.5 Trituradoras terciarias**

Este tipo de trituradoras fragmentan el producto de la trituración secundaria hasta tamaños de 1/2" o 3/8". Entre estas máquinas están:

- Trituradoras cónicas.
- Trituradoras de rodillos.

##### **4.3.5.1 Trituradoras de cilindros**

Existen diversas clases de trituradoras de este tipo. Consta fundamentalmente de dos cilindros del mismo diámetro que giran en sentido opuesto. El material es tomado por ambos cilindros y es apretado entre ellos para efectuar la trituración. Los cilindros giran accionados por un motor y el

acople entre ambos se hace a través de ruedas dentadas. Los cilindros pueden ser lisos, estriados o dentados. Para que el material a triturar pueda ser procesado, se requiere que el tamaño de los trozos sea menor que la veintava parte del diámetro de los cilindros, pues en caso contrario el material no es tomado y pasado a través de los cilindros.

Las trituradoras de cilindros lisos trabajan por aplastamiento; es decir, por compresión lenta y continua. Las trituradoras de cilindros dentados trabajan principalmente por cizallamiento o desgarrado, por percusión y en menor medida por compresión.

Acercas del tipo de alimentación, destaca que son máquinas robustas que pueden tratar productos húmedos y pegajosos; con productos abrasivos, el consumo de camisas puede ser elevado. Al respecto, se consideran dos formas básicas de alimentación a la trituradora:

- Alimentación en monocapa: el material se alimenta con regularidad y de una forma monocapa de 1 en 1. En estas condiciones trabaja casi como una compresión pura, tiene la ventaja de un desgaste menor de los cilindros y produce menos finos, con el inconveniente de disminuir la capacidad de forma notable.
- Alimentación a tragante lleno: siempre hay material sobre los rodillos, con alta capacidad de trituración mediante compresión y roce.

El sistema antidesgaste o la protección de los cilindros que están sometidos a fuertes rozamientos por el sistema de trabajo, lo constituyen placas de acero al manganeso o de aceros al Cr Ni.

Al realizar una comparativa de las trituradoras y el tamaño del material al final de la máquina se obtienen los siguientes datos de la tabla:



| <b>Tipo de trituradora</b>      | <b>Tamaño final del material</b> |
|---------------------------------|----------------------------------|
| <b>Trituradora de mandíbula</b> | 200 - 150 (mm)                   |
| <b>Trituradora giratoria</b>    | 200 - 150 (mm) o 70 - 50 (mm)    |
| <b>Trituradora de cono</b>      | 70 - 50 (mm) o 12.5 - 9.5 (mm)   |
| <b>Trituradora de rodillos</b>  | 12.5 - 9.5 (mm)                  |

*Tabla 9. Comparación de trituradoras, a partir del tamaño final del material triturado.*

En cuanto a la elección del modelo, se realiza con base en el tamaño máximo que puede admitir la máquina y el tamaño promedio del material a triturar, considerando el grado de reducción ( $n$ ) que se define como la relación entre el tamaño inicial del material y el tamaño final del material triturado, por lo que se obtiene la siguiente expresión:

$$n = \frac{\text{tamaño inicial del material}}{\text{tamaño final del material triturado}}$$

A continuación, en la imagen 5, se muestra un gráfico donde con base en el tamaño inicial del material y el tamaño deseado a la salida del proceso de trituración, se obtiene un grado de reducción y dependiendo del valor, se encuentra especificado la recomendación del tipo de trituradora que más se adapta al proceso que se desea realizar.

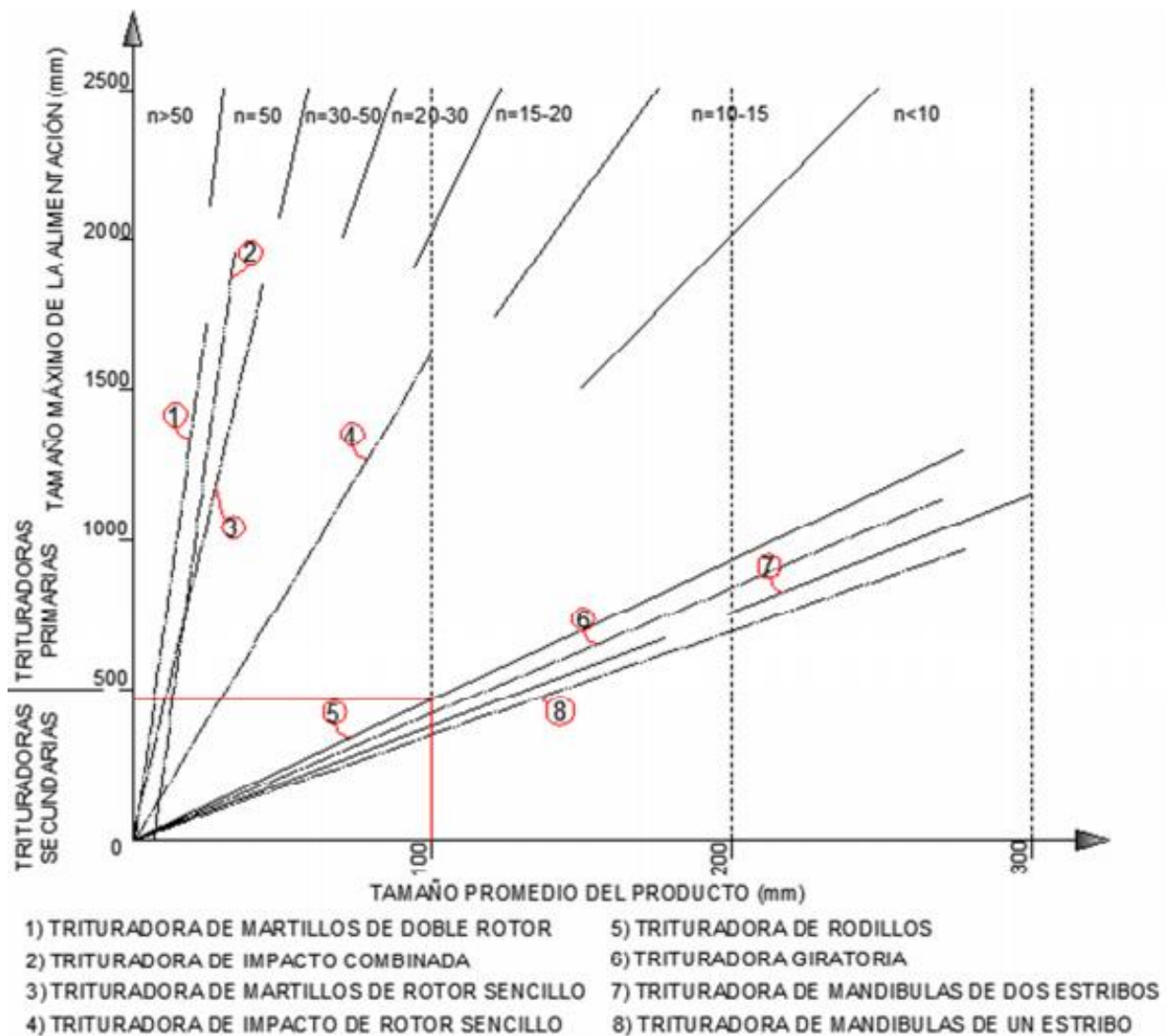
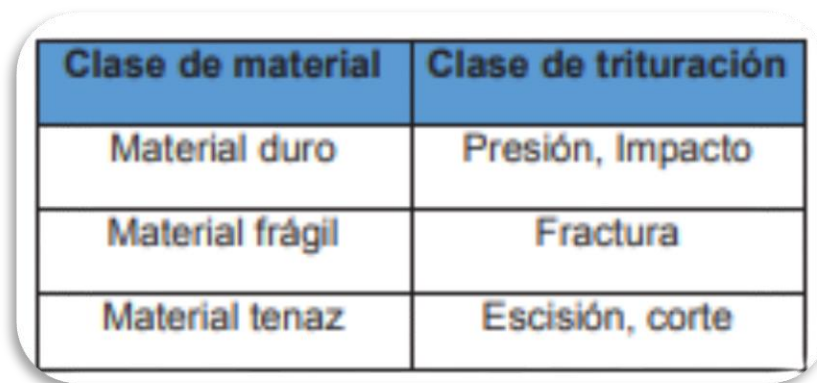


Imagen 5. Gráfico de tamaño máximo de alimentación versus tamaño promedio del producto. Fuente: Fernando Santiago Ramos Peña (s/f). "Diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con una capacidad de 6.5 quintales por hora", Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10287/3/CD-6137.pdf>.

Considerando un tamaño inicial de 10 (mm) y un tamaño final de 3 (mm), tenemos que el grado de reducción  $n < 10$  (3.33), por lo que con ayuda del gráfico se puede obtener que las mejores opciones de trituradoras son de rodillos, giratoria y de mandíbulas.

Finalmente, a partir del tipo de material que se desea triturar, se tienen las siguientes clases de trituración que se muestran en la imagen 10, entiéndase clase de trituración, al método mediante el cual se produce la reducción del tamaño de los materiales:



| Clase de material | Clase de trituración |
|-------------------|----------------------|
| Material duro     | Presión, Impacto     |
| Material frágil   | Fractura             |
| Material tenaz    | Escisión, corte      |

*Imagen 6. Clase de trituración, a partir del material. Fuente: Fernando Santiago Ramos Peña (s/f). "Diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con una capacidad de 6.5 quintales por hora", Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10287/3/CD-6137.pdf>.*

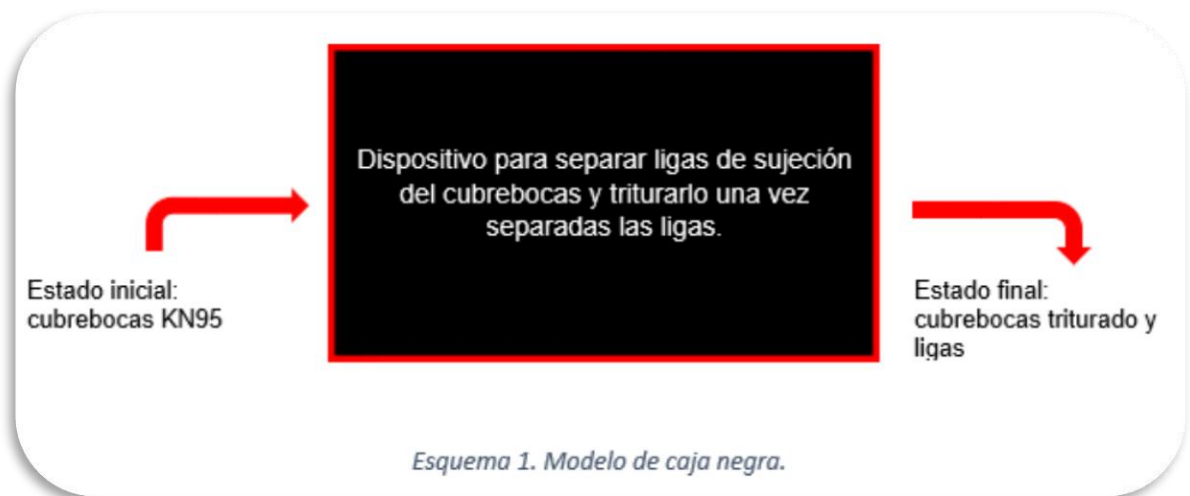
Debido a las características de los materiales es posible concluir que las trituradoras de mandíbula y giratorias quedan descartadas debido a que no es posible triturar únicamente por acción de compresión, lo que da como resultado que la mejor opción de maquinaria es una trituradora de rodillos dentados o cuchillas para poder realizar una trituración por compresión y corte, ya que se

trabaja con un material dúctil (propiedad del material para deformarse plásticamente sin romperse) y tenaz (propiedad del material que consiste en la capacidad de absorber energía de deformación en grandes cantidades, antes de sufrir roturas).

## II. Desarrollo del concepto

### 2.1 Modelo de caja negra

El siguiente esquema muestra de forma general el estado inicial del cubrebocas (es decir, qué es lo que entra a la máquina) y el estado final del cubrebocas (lo que se obtiene después de un proceso).



*Esquema 1. Modelo de caja negra.*

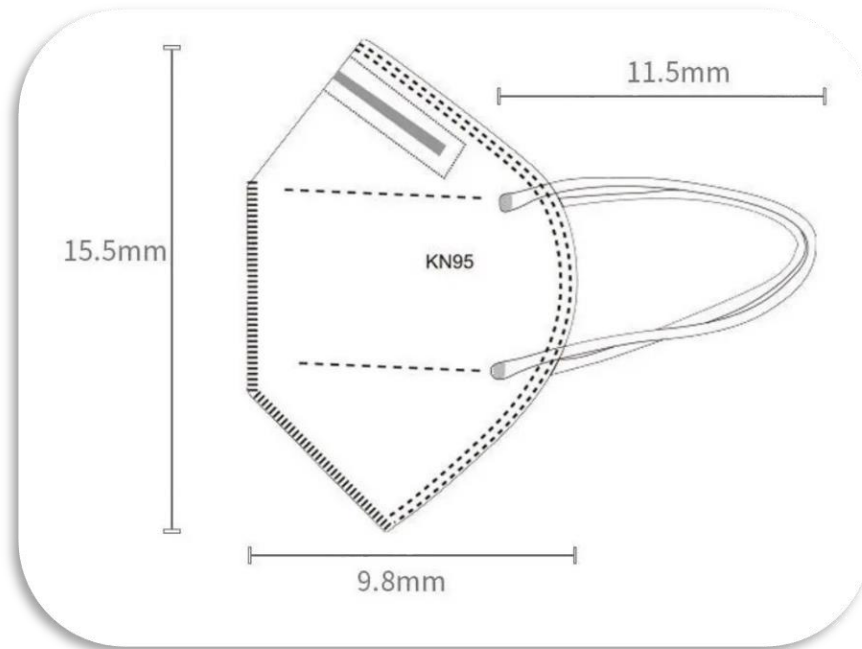
*Imagen 7. Modelo de caja negra.*

El diseño de una máquina para separar ligas de sujeción del cubrebocas y triturarlo una vez que éstas se encuentran separadas, se compone por dos sistemas:

- Sistema de separación.
- Sistema de trituración.

A partir de la investigación bibliográfica es posible generar conceptos para el diseño de cada uno de los sistemas que componen el dispositivo.

En la imagen 6 se muestran las dimensiones generales del cubrebocas KN95 para realizar una serie de propuestas para los sistemas de separación y trituración.



*Imagen 8. Dimensiones generales del cubrebocas KN95. Fuente: productosuniversal.com (s/f). Recuperado de: <https://www.productosuniversal.com/site2/wp-content/uploads/2017/10/KN-MEDIDAS.png>.*

A partir de las dimensiones generales del cubrebocas KN95 se realizaron dos bocetos distintos de máquinas para los sistemas de separación y trituración de este tipo de mascarilla, los cuales se desarrollan a continuación.

## 2.2 Concepto 1. Sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95

1. Este modelo consta de dos varillas donde serán colocados los cubrebocas de forma manual por los usuarios una vez que deseen desecharlo. La forma de colocar el cubrebocas es colgándolo en las varillas con las ligas de sujeción. Es importante mencionar que el espacio donde se pone dicho elemento debe ser lo suficientemente amplio para que el usuario no tenga contacto alguno con el dispositivo y esto sea motivo de contagio.

Una vez colocado el elemento mediante el sistema de varillas, éste se desplaza sobre las varillas por acción de gravedad hasta llegar a un tope donde se van almacenando los cubrebocas. Durante el recorrido se encuentra una tercera varilla por debajo de las dos principales, que permite el anclaje de los cubrebocas.

2. Una vez que se encuentra el número deseado de cubrebocas sobre las varillas (conforme a lo especificado en el apartado de materiales), una lámina cae sobre éstas asegurando las ligas de sujeción, pasando a una segunda etapa donde, mediante un dispositivo mecánico, las dos varillas principales y la lámina se desplazan de forma ascendente. Con ello se logra la separación de las ligas de sujeción y ésta se asegura con la tercera varilla ya mencionada, que no permite que los cubrebocas se desplacen junto con las ligas y caigan por efecto de gravedad en una tolva con salida a los rodillos.

3. Posteriormente, el dispositivo mecánico que separa las ligas realiza una trayectoria al lado opuesto de la máquina donde se encuentra un contenedor que almacenará las ligas y una tolva que asegura la entrada de éstas.

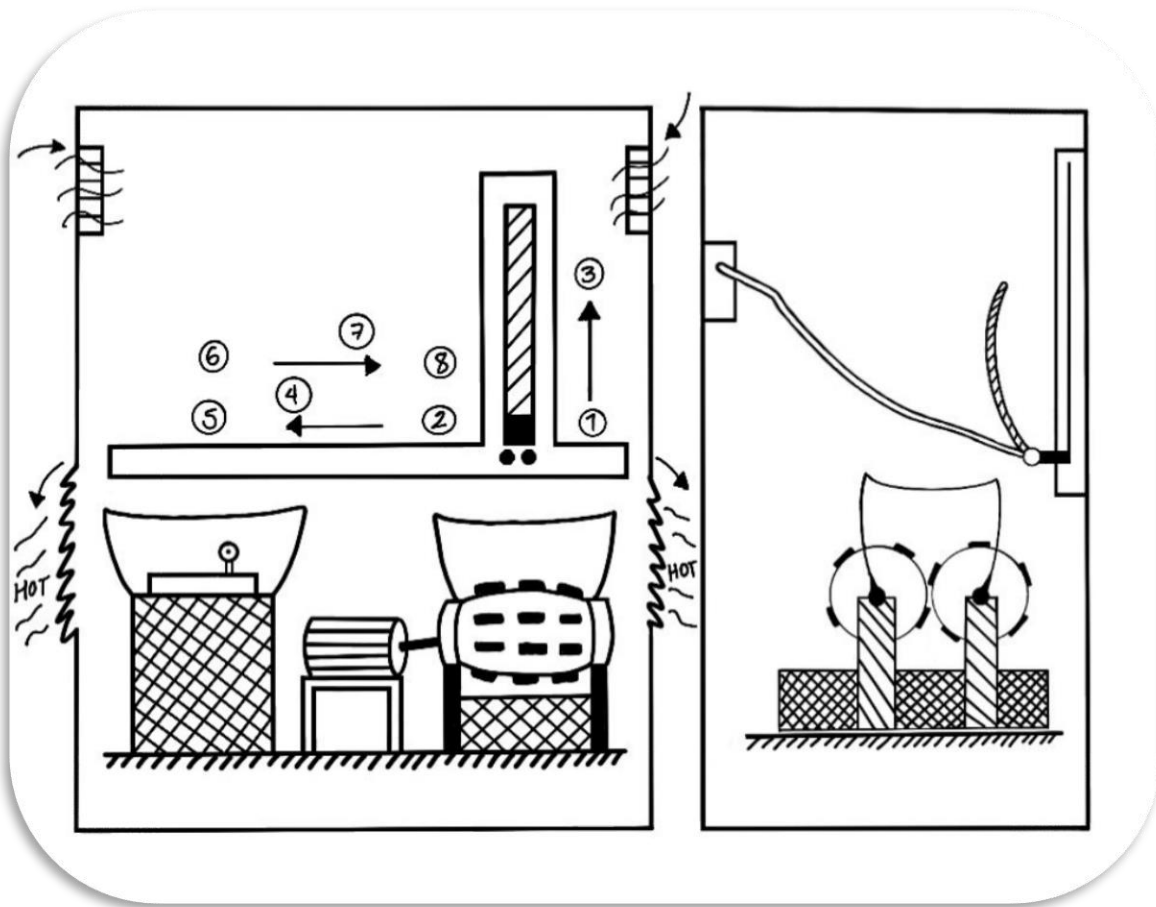
4. En este punto, una vez que el dispositivo realiza el recorrido, la lámina se eleva mediante un actuador, por lo que las ligas quedan sin sujeción. Mediante un accionamiento neumático de válvulas, las varillas realizan un movimiento de lado a lado, únicamente en la zona donde se encuentra el contenedor de ligas; ello para asegurar que las ligas caen en el contenedor por efecto del movimiento y de la fuerza gravitacional.
5. Después de la operación anterior, la lámina de sujeción baja nuevamente por efecto del actuador y los elementos regresan al punto de partida.
6. Cuando los elementos anteriores regresan, el motor eléctrico de los rodillos es accionado, dando lugar a la etapa de trituración de los cubrebocas.
7. Los residuos triturados caen en un segundo contenedor donde serán almacenados.
8. Finalmente, ya que todo el material fue triturado, el motor eléctrico de los rodillos es desactivado, la lámina de sujeción regresa a su posición inicial por acción del actuador y la máquina se encuentra lista para realizar el proceso de nuevo.

### **Observaciones del concepto 1**

Todo el tiempo que el dispositivo se encuentra en funcionamiento, una compuerta localizada en el área de recepción de cubrebocas, baja por acción de un actuador para la seguridad de los usuarios,

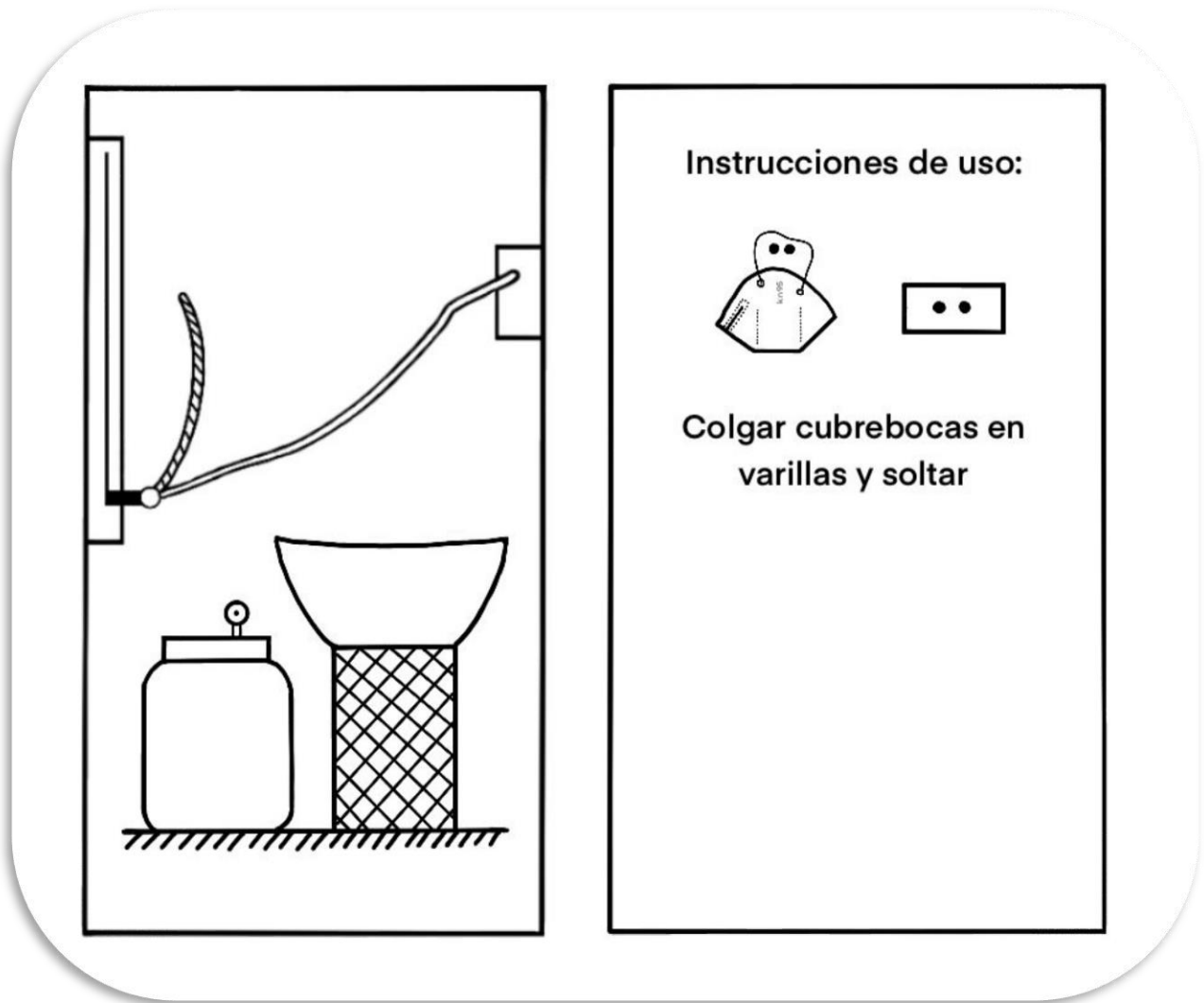
no altera el proceso del dispositivo y la máquina cuenta con sistema de circulación de aire mediante el uso de aberturas en la parte superior e inferior de la carcasa del dispositivo.

En las imágenes 7 y 8 se muestran dos bosquejos realizados a mano de los sistemas de separación y trituración de los cubrebocas KN95 sobre el concepto 1 antes descrito.



*Imagen 9. Bosquejo de los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95, del Concepto 1 (vista frontal y lateral).*





*Imagen 10. Bosquejo de los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95 del Concepto 1 (vista lateral y frontal con carcasa).*

### 2.3 Concepto 2. Sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95

1. En una primera etapa de este modelo, el usuario deja su mascarilla en una banda rígida que permite el deslizamiento de los cubrebocas y estos caen por acción de la gravedad; posteriormente pasan a una etapa donde se encuentra una configuración de varillaje que

permite que el cubrebocas siga deslizándose y las ligas (debido a su peso) realicen el mismo proceso sobre la misma trayectoria, pero en otro juego de varillas. Lo anterior, para garantizar el anclaje del dispositivo y la separación de las ligas. En la imagen 16 se muestra a detalle la configuración de las varillas.

2. Al llegar a un tope dentro de la máquina, un pistón se retrae y, con él, las varillas que anclaron las ligas de sujeción del dispositivo. Además del varillaje, el pistón se retrae junto con un sistema de captación de ligas que lo conforman una rejilla y un contenedor que permiten el almacenamiento de las antes mencionadas.
3. Una vez que las ligas fueron retiradas, por simple acción de gravedad el cubrebocas se desliza sobre una siguiente banda rígida que lo lleva a una tolva que tiene como salida los rodillos de trituración.
4. Finalmente, ya que los cubrebocas se encuentran en la tolva, mediante un motor eléctrico son accionados los rodillos para comenzar el proceso de trituración del material, donde los residuos van cayendo en un segundo contenedor que se encuentra en la parte inferior de los rodillos.

### **Observaciones del concepto 2**

Todo el tiempo que el dispositivo se encuentra en funcionamiento, una compuerta localizada en el área de recepción de cubrebocas, baja por acción de un actuador para la seguridad de los usuarios, no altera el proceso del dispositivo y la máquina cuenta con un sistema de circulación de aire mediante el uso de aberturas en la parte superior e inferior, en la carcasa del dispositivo.

En las imágenes 9, 10 y 11 se muestran los bosquejos realizados a mano de los sistemas de separación y trituración de los cubrebocas KN95.

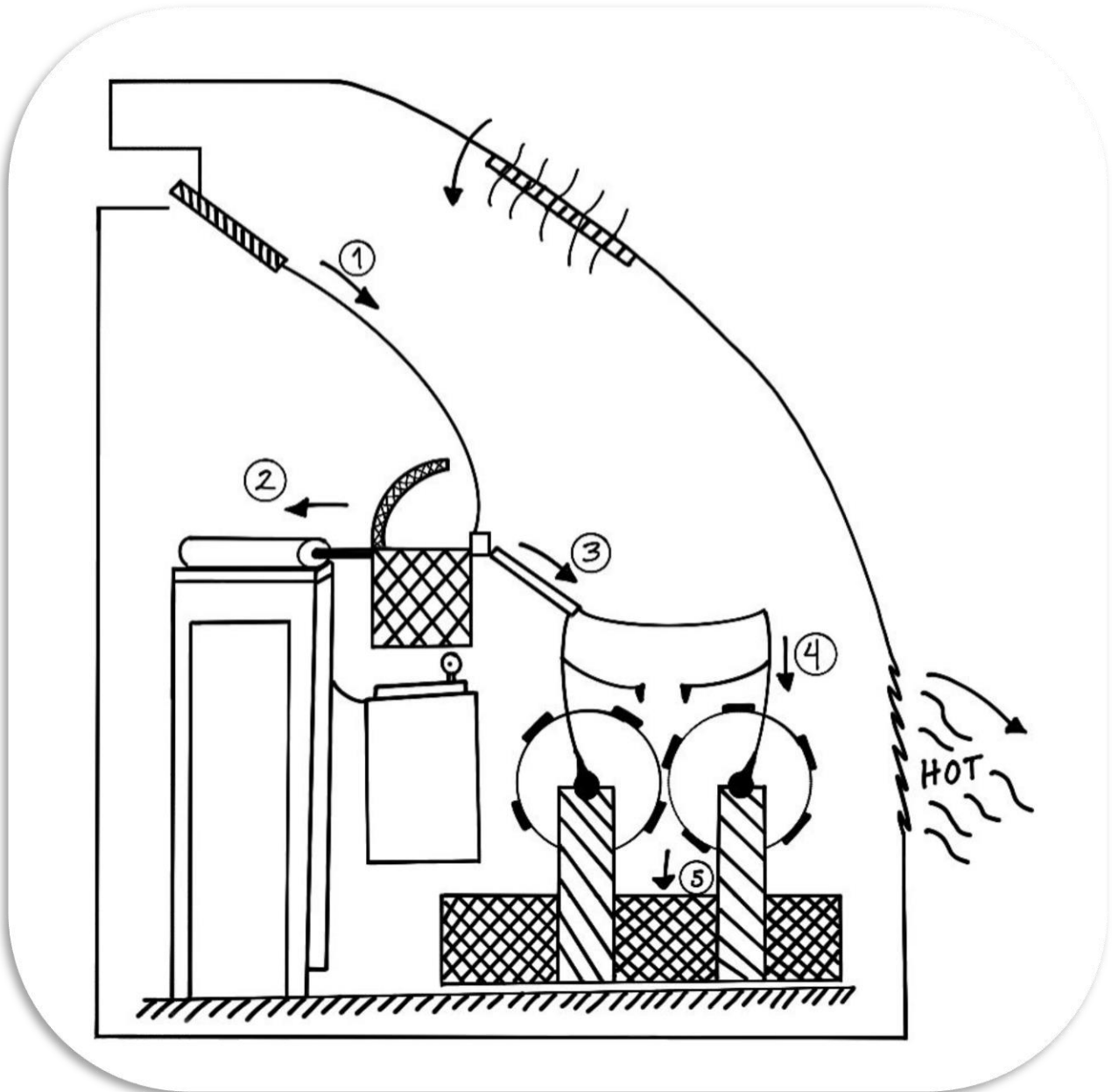
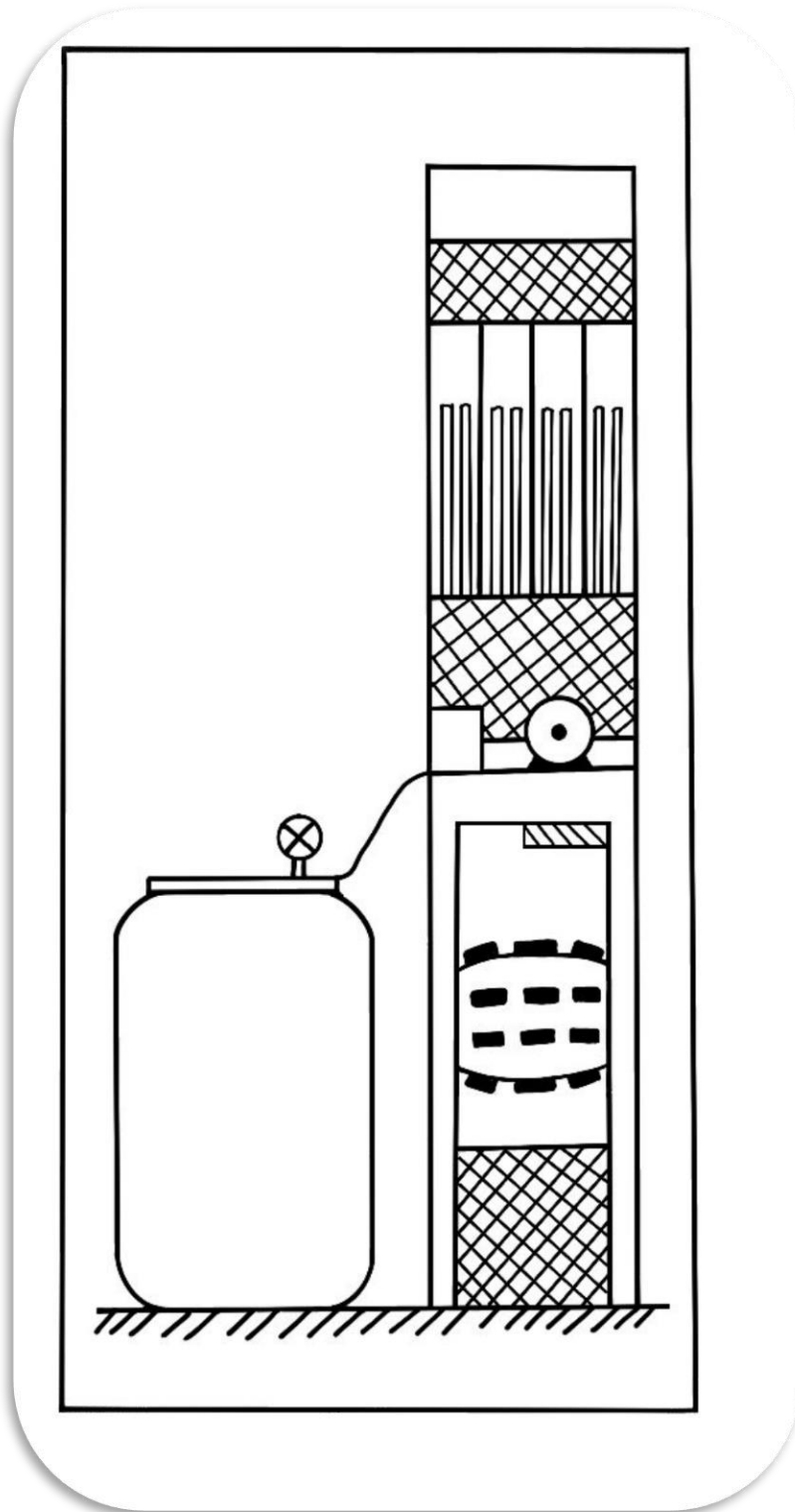
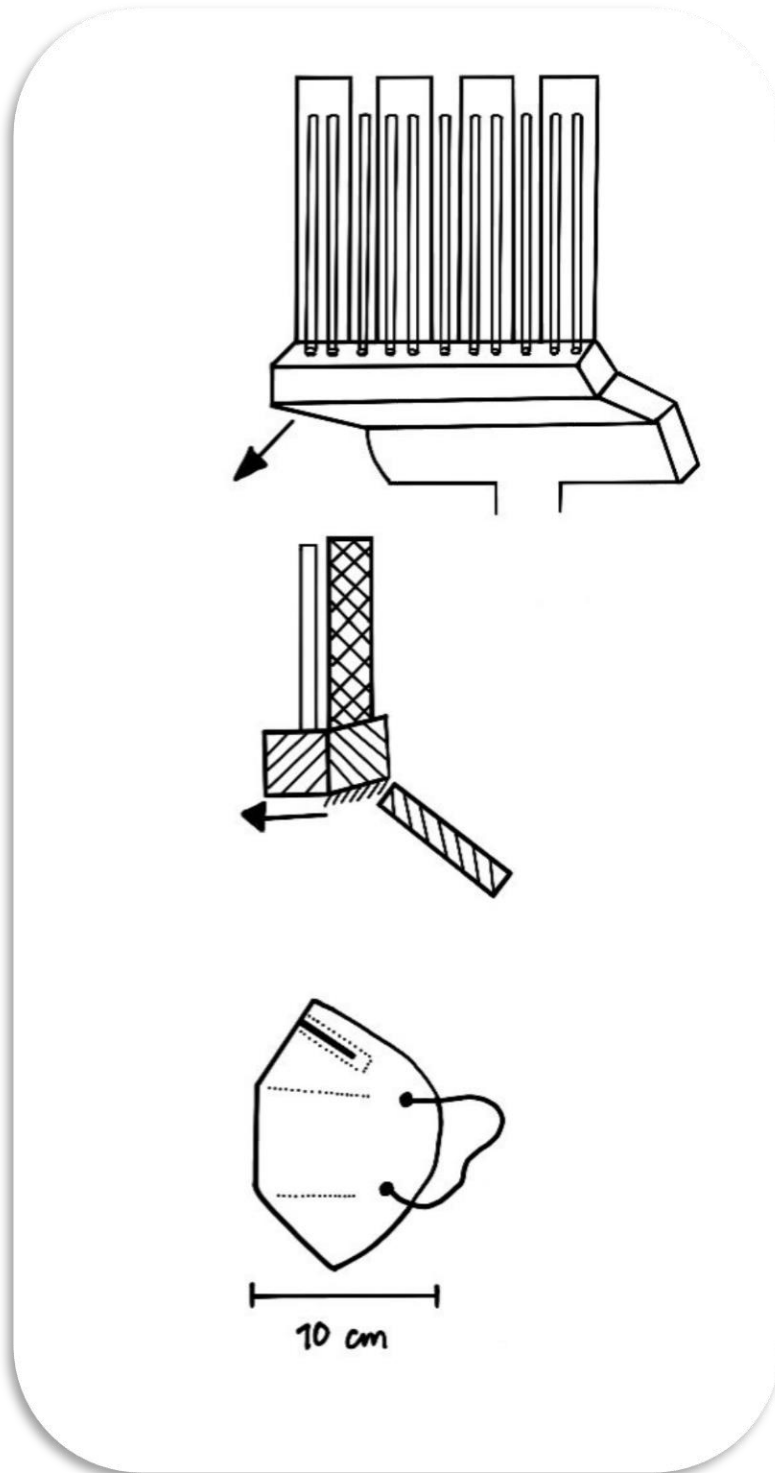


Imagen 11. Bosquejo de los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95 del Concepto 2 (vista lateral).



*Imagen 12. Bosquejo de los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95 del Concepto 2 (vista frontal).*



*Imagen 13. Bosquejo del sistema de separación de cubrebocas KN95 del Concepto 2  
(vista lateral).*

A continuación, en la tabla 10 se realiza una comparación entre los conceptos 1 y 2 de los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95.

| <b>Modelo</b> | <b>Ventaja</b>   | <b>Desventaja</b>  |
|---------------|--|--|
| <b>1</b>      | La forma de ingresar el cubrebocas asegura una posición de éste, por lo que la probabilidad es casi nula de que el sistema de separación de la liga falle. | Hay una gran cantidad de elementos que constituyen la máquina. Esto hace referencia a más actuadores, sensores, una programación más amplia y diseños de mayor complejidad, por ejemplo, el sistema de guías para el desplazamiento del varillaje a las distintas etapas y un alto consumo energético de electricidad o un sistema de almacenamiento de aire comprimido de mayor tamaño con una gran cantidad de válvulas para |

|          |   | realizar las funciones que se requieren.   |
|----------|---|--|
| <b>2</b> | Menor cantidad de actuadores y sensores, y bajo consumo energético, ya que el sistema funciona en gran parte bajo efectos naturales, como son las fuerzas gravitacionales; además, la configuración del varillaje ayuda en la reducción de consumos energéticos, tamaño y costos. | Es necesario realizar una serie de pruebas para obtener una eficiencia experimental del sistema de separación de cubrebocas para asegurar que cumple con los requerimientos. |

*Tabla 10. Ventajas y desventajas de los conceptos 1 y 2, de los Sistemas de Separación y Trituración de Cubrebocas KN95.*

Debido a la complejidad del sistema de separación, se realizó una investigación extra acerca del tipo de material del que están manufacturadas las ligas sujetadoras de los cubrebocas KN95, buscando simplificar la operación del sistema, triturar en conjunto todo el cubrebocas y posiblemente descartar el sistema de separación, teniendo como resultado diseñar únicamente el sistema de trituración.

En la tabla 11 se muestra el tipo de material con el que está manufacturado el cordón elástico (liga) para la sujeción de cubrebocas:

| <b>Material</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Especificación</b>   |
|-----------------|---|---|
| <b>Nylon</b>    | Policaprolactona  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Policaprolactona (Nylon).</li> </ul>   |
| <b>Elastano</b> | <p>Macro-glicol flexible: tereftalato de polietileno mezclado con monoetilenglicol. Puede ser poliéster, policarbonato o policaprolactona. Estas fibras son responsables de su característica de estiramiento.</p> <p>El otro prepolímero que brinda la característica de rigidez es un diisocianato polimérico (NCO), precursores en la formación de polímeros de poliuretano.</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fibra sintética: tereftalato de polietileno mezclado con monoetilenglicol (<b>Poliéster</b>).</li> <li>• Polioliol e isocianato (<b>Poliuretano</b>).</li> </ul> |

*Tabla 11. Materiales del cordón elástico para sujeción del cubrebocas KN95.*

Una vez que se encontraron las materias primas con las que se fabrica el cordón elástico y las pruebas físicas del sistema de separación del cubrebocas KN95, se realizó una segunda investigación acerca de las posibles formas de reutilizar los residuos una vez que fueron triturados y si es conveniente o no el sistema de separación.



## 2.4 Formas posibles de reciclar el material triturado

De acuerdo con la investigación realizada, se descubrió que hay empresas o personas desarrollando proyectos que se dedican a reutilizar este tipo de material del que está fabricado el cubrebocas y el cordón elástico (liga). A continuación, se indican algunas empresas o proyectos que pueden aprovechar los residuos, de acuerdo con lo que se describe en el presente trabajo:

- **ECO-INDUSTRIAS SAN RAFAEL** (<https://www.eco-industrias.com/about-us/>)

Empresa manufacturera textil que integra el proceso de transformación de material sustentable para convertirlo en materia prima de productos textiles de su catálogo. Al aprovechar los insumos reusables aportan una cultura ecológica y disminuyen la erosión del ecosistema. Se encuentran ubicados entre las comunidades de Contla de Juan Cuamatzi y Santa Ana, Tlaxcala. Destaca que 80% de sus productos son hechos con 80% de la composición total de materia prima sustentable: fibra de poliéster sustentable obtenida de una empresa con la que tiene alianza: Morphoplast.

- **MORPHOPLAST** (<https://morphoplast.com/>)

Trabaja en soluciones en materia prima como fibra sustentable para la industria textil; principalmente se dedican a la recolección de PET.

- **NOVABORI** (<https://www.novabori.com/contacto>)

Es una empresa mexicana dedicada al reciclaje textil. Lleva 60 años de existencia y se ha enfocado en la creación de telas, cobijas y otros productos textiles. Con el paso del tiempo han ido innovando sus mismos procesos para lograr desarrollar artículos que tengan un impacto

mucho más fuerte y en más industrias. Su filosofía se basa en generar textiles de manera sustentable.

Un ejemplo relevante acerca de cómo es que se aprovecha la reutilización de los residuos de los cubrebocas KN95 lo brinda Clarisse Merlet, fundadora de la empresa francesa FabBRICK que desarrolla ladrillos decorativos y aislantes a partir de ropa vieja.

Los textiles se mezclan con pegamento ecológico hecho de ingredientes de origen biológico y no contaminante. Este pegamento asegura que los ladrillos sean impermeables y resistentes al fuego. Luego, éstos se comprimen con una máquina.

Los ladrillos son un excelente aislante térmico y acústico, lo que significa que funcionan para divisiones de habitaciones, paredes decorativas en tiendas y también para hacer muebles, como lámparas, mesas y más.

Cabe mencionar que, en una entrevista con Novethic, Merlet mostró un prototipo de un ladrillo hecho de máscaras quirúrgicas trituradas que podría ayudar a resolver el asunto de los desechos provenientes de la atención de la pandemia actual.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo del producto final que diseñó y fabricó Clarisse Merlet.



*Imagen 14. Ladrillos fabricados a partir de residuos textiles. Fuente: portal-ambiental.com (2022). “Joven inventó ladrillos aislantes y resistentes al fuego a partir de ropa vieja”. Recuperado de: <https://portal-ambiental.com/ecologia/joven-invento-ladrillos-aislantes-y-resistentes-al-fuego-a-partir-de-ropa-vieja/>.*

Finalmente, durante la investigación realizada fue posible conocer otro ejemplo: el de Kim Haneul, quien instaló una caja de colección de máscaras en su escuela, la Universidad de Arte y Diseño de Kaywon, en Corea del Sur. Desde entonces, ha reunido 10,000 máscaras usadas y también ha recibido más de una tonelada de máscaras defectuosas de una fábrica.

Para reducir el riesgo de transmisión del coronavirus y luego quitando las bandas elásticas, este joven funde el material a temperaturas superiores a los 300 °C sobre un molde, obteniendo como

resultado taburetes de tres patas de 45 cm reciclados a partir de máscaras blancas, rosas, azules y negras, que Kim exhibió en una exposición (tal como se muestra en la imagen 13).



*Imagen 15. Taburetes fabricados por Kim Ha-neul, a partir de residuos de cubrebocas.*

*Fuente: portal-ambiental.com (2021). “Estudiante recicla mascarillas usadas y las convierte en muebles”. Recuperado de: <https://portal-ambiental.com/ecologia/estudiante-recicla-mascarillas-usadas-y-las-convierte-en-increibles-muebles/>.*

## **2.5 Pruebas físicas con prototipos funcionales del Concepto 2, de la configuración del varillaje del sistema de separación**

Se realizaron una serie de pruebas para determinar diversos aspectos como lo son:

- Fuerza requerida para desprender cordón elástico.

- Longitud máxima de extensión de cordón elástico.
- Eficiencia de la configuración del varillaje del Concepto 2 propuesto.

En las siguientes imágenes se muestran los elementos físicos usados como “pesa” para determinar la fuerza requerida para desprender cordón elástico, así como el peso total de la “pesa” utilizada mediante el empleo de una báscula.

Cabe mencionar que la justificación de las pruebas realizadas se obtiene al contemplar que son factores influyentes sobre la decisión de implementar el sistema de separación y, en caso de que lo sea, nos brinda información acerca de cómo debe ser la propuesta de diseño final para el sistema de separación.



*Imagen 16. Elementos físicos utilizados como “pesa”.*



*Imagen 17. Báscula previamente calibrada, utilizada para realizar pesaje.*



*Imagen 18. Pruebas con distintos pesos para separar cordón elástico (0.725 kg).*



*Imagen 19. Peso necesario para separar cordón elástico (1.675 kg).*



*Imagen 20. Toma cercana de la carátula de la báscula con peso final necesario.*



*Imagen 21. Método empleado para realizar pruebas físicas con pesas.*

Con los resultados obtenidos de las pruebas es posible concluir que la fuerza necesaria para separar la liga de sujeción de los cubrebocas es de:

$$F = 1.675 \times 9.81 = \mathbf{16.432 \text{ [N]}}$$



Posteriormente, se realizaron pruebas físicas del sistema de separación de cubrebocas del Concepto 2 propuesto, tal como se muestra en las siguientes imágenes.

Para la siguiente prueba, se empleó el uso de dos canales de acero galvanizado, dejando una separación entre ambos elementos de una distancia máxima de 10 cm, alambre recocido y polín de madera como base de todos los elementos.



*Imagen 22. Modelo físico demostrativo para el sistema de separación del Concepto 2.*



*Imagen 23. Disposición de alambre receptor de la liga del cubrebocas.*



*Imagen 24. Toma lateral de la disposición de alambre receptor de la liga del cubrebocas.*



*Imagen 25. Elongación máxima de la liga de sujeción del cubrebocas KN95 (24 cm).*

Finalmente, después de experimentar con un modelo físico y probar el sistema de separación de cubrebocas del Concepto 2 propuesto, se obtuvo un %EE de 20% al realizar 100 pruebas de las cuales 20 de éstas fueron fallidas, por lo que nuestro sistema requiere un rediseño, o bien, que la configuración sea la misma, pero con ayuda de los usuarios se proponga la colocación del cubrebocas KN95 en una posición específica y con esto garantizar un error mínimo del funcionamiento del sistema de separación.

Se realizó un prototipo físico funcional de mayor detalle en el que se utilizaron los materiales que se muestran a continuación:

- 2 canales de acero galvanizado de 3.4 (m) de largo.
- 1 ángulo de acero al carbono A36, calibre 20 x 3/4'' y 22 [cm] de largo.
- 6 varillas lisas de acero al carbono A36, calibre 32 de 35 [cm] de largo.

- 2 pares de bisagras tubulares de 5/8'' de diámetro.

Con el uso de los materiales antes mencionados se diseñó un prototipo funcional para realizar las últimas pruebas físicas y determinar si el sistema es funcional o requiere un rediseño.

Como primer paso, se cortó el canal de acero utilizando una segueta para tener dos canales de la misma longitud. Por la parte superior de éstos será por donde se deslizarán las mascarillas por efecto de la gravedad, al momento en que un usuario introduce la mascarilla.

Para la configuración del varillaje, con el uso de soldadura oxiacetilénica (autógena) se soldaron las bisagras de acero al ángulo de acero, esto para configurar posteriormente el ángulo en el que se posicionarán las varillas.

Después, se unieron un par de varillas usando soldadura por arco eléctrico para ampliar su longitud de 35 a 70 [cm] de largo, obteniendo con esto 3 varillas de mayor longitud. Una vez que se amplió la longitud de éstas, se procedió a unir las a la bisagra en forma distribuida con el uso de soldadura por arco eléctrico.

Finalmente, después de una serie de pruebas y un análisis de dimensiones de la máquina se configuraron los canales de acero galvanizado a 10 (cm) de separación entre cada uno y con un ángulo de inclinación de 49° respecto de una base completamente horizontal. Justo debajo de éstos se colocó el varillaje con una inclinación de 50° respecto de la misma base de los canales.

Una vez finalizado el prototipo del sistema de separación, se realizó una serie de pruebas reales donde se obtuvieron los siguientes resultados indicados en la tabla 12.

De 140 pruebas con cubrebocas KN95:

| <b>Pruebas OK</b> | <b>Pruebas NOK</b> |
|-------------------|--------------------|
| <b>91</b>         | <b>18</b>          |

*Tabla 12. Resultados de pruebas OK y NOK para sistema de separación de cubrebocas KN95.*

Por lo tanto obtenemos un %EE de 19.78%, concluyendo que, debido a que las ligas o los cordones elásticos no poseen un peso significativo, esto quiere decir, que siempre caigan entre la separación de los canales para que las ligas sean atrapadas por las varillas para posteriormente realizar la separación de los materiales y, además, si los usuarios tienen que introducir su cubrebocas en una posición determinada, la configuración del varillaje es buena, pero si se rediseña el sistema ampliando únicamente la longitud de las varillas hasta la compuerta donde se introducen los cubrebocas KN95 y los usuarios lo introducen siguiendo una serie de pasos sencillos y rectifiquen que su mascarilla va en la posición deseada, se obtiene con esto un %EE prácticamente nulo y se garantizará el funcionamiento del sistema de separación con el empleo de pocos recursos y fácil fabricación.

A continuación, en las siguientes imágenes se muestra la evidencia de la fabricación del prototipo de pruebas del sistema de separación:



*Imagen 26. Corte de rebabas de bisagras para unir con soldadura.*



*Imagen 27. Unión de varillas y bisagras al ángulo de acero con soldadura y recubrimiento con pintura en aerosol color gris.*



*Imagen 28. Comparación de los modelos físicos de pruebas para constatar efectividad.*



*Imagen 29. Modelo físico de pruebas del sistema de separación de ligas de sujeción del  
cubrebocas KN95.*

Como conclusión del sistema de separación, a partir de los resultados obtenidos de las pruebas con el modelo físico, únicamente se espera efectuar pruebas funcionales del sistema de trituración, acordar una negociación con las empresas mencionadas en el apartado 5.4 y buscar la opción de llevar a cabo una colaboración con alguna de las empresas ya investigadas para determinar, finalmente, si es una opción triturar todo el cubrebocas en conjunto, entregar residuos triturados y omitir el sistema de separación o, como se mencionó anteriormente, implementarlo realizando un rediseño donde, con ayuda de los usuarios, el cubrebocas se posiciona en una configuración específica.

### **III. Diseño de detalle**

En este apartado se realizó el cálculo para determinar los parámetros de diseño del sistema de trituración de cubrebocas KN95. A continuación, se describen los resultados.

#### **3.1 Capacidad de trituración y potencia requerida**

Ecuación 1: capacidad de trituración por revolución (Hernández Moyano, José Luis; Fonseca La Rotta, Diego [2017]. *Diseño de una trituradora de residuos sólidos tipo PET para la Fundación Alianza Forestal de Colombia E.S.P.* Boyacá, Escuela de Ingeniería Electromecánica/Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Recuperado el 11 de agosto de 2021, de: [https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2640/1/TGT\\_1254.pdf](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2640/1/TGT_1254.pdf)):

$$C_{t/r} = 4A_c * N_e * N_c * t_c * \rho_{MAT}$$

Donde:



$C_{\frac{t}{r}}$  es la capacidad de corte por revolución de la máquina

$A_c$  es el área de corte de la cuchilla

$N_e$  es el número de ejes

$N_c$  es el número de cuchillas

$t_c$  es el espesor de la cuchilla

$\rho_{MAT}$  es la densidad del material

Considerando los elementos a triturar establecidos en la tabla 7 del presente documento, el material con más alta densidad es el aluminio 6063 con un valor de 2.7 g/cm<sup>3</sup> y para el área de corte de la cuchilla se tomará el área proyectada de la cuchilla considerando una lámina de calibre 18 (1.2 mm).

$$C_{t/r} = 4(0.152 \times 3.63) * 2 * 8 * 0.152 * 0.0027 \left[ cm^2 * cm * \frac{kg}{cm^3} \right]$$

$$C_{t/r} = 0.0145 [kg]$$

Ecuación 2: capacidad de trituración (Hernández Moyano, José Luis; Fonseca La Rotta, Diego [2017]. *Diseño de una trituradora de residuos sólidos tipo PET para la Fundación Alianza Forestal de Colombia E.S.P.* Boyacá, Escuela de Ingeniería Electromecánica/Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Recuperado el 11 de agosto de 2021, de: [https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2640/1/TGT\\_1254.pdf](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2640/1/TGT_1254.pdf)):

$$Cap = e * C_{t/r} * n$$

Donde:

**Cap** es la capacidad de trituración general de la máquina

*e* eficiencia del motor basado en la eficiencia que marca ficha técnica del motor

*n* es la velocidad angular con la cual giran el eje y las cuchillas

$$Cap = 0.59 * 0.0145 * 1740 \frac{rev}{min} * \frac{60min}{1 hora} \left[ \frac{kg}{hora} \right]$$

$$Cap = 893.14 \left[ \frac{kg}{hora} \right]$$

Ecuación 3: ancho mínimo de la abertura de la alimentación (Ortiz Ortega, Edgar José; Tirado Abril, Ronald Julián [2005]. *Diseño y construcción de una trituradora de mandíbulas excéntricas elevada*. Colombia, Escuela de Ingeniería Mecánica/Universidad Industrial de Santander.

Recuperado el 11 de agosto de 2021 de:  
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2005/116924.pdf>):

El ancho mínimo de la trituradora debe ser 15% mayor que el tamaño máximo de la alimentación.

$$G = \frac{A_{maxalimentación}}{0.85}$$

Donde:

**G** es el ancho mínimo de la abertura de la alimentación

**A<sub>maxalimentación</sub>** espesor máximo del material a la entrada

$$G = \frac{1}{0.85} = 1.17 [cm]$$

Ecuación 4: potencia requerida para la trituración (Ortiz Ortega, Edgar José; Tirado Abril, Ronald Julián [2005]. *Diseño y construcción de una trituradora de mandíbulas excéntricas elevada*.

Colombia, Escuela de Ingeniería Mecánica/Universidad Industrial de Santander. Recuperado el  
11 de agosto de 2021 de: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2005/116924.pdf>):

La potencia es calculada con la siguiente expresión de Bond:

$$P_{\text{trituración}} = m * 0.3162 * W_i * \left( \frac{1}{D_{pb}^{0.5}} - \frac{1}{D_{pa}^{0.5}} \right) \left[ \frac{\text{ton}}{\text{hr}} * \frac{\text{KW hr}}{\text{ton}} \right]$$

*$P_{\text{trituración}}$  es la potencia requerida para la trituración del material*

*$m$  es la capacidad de trituración de la máquina*

*$W_i$  es el índice de trabajo que dependen únicamente del tipo de material que se tritura*

*$D_{pb}$  es la dimensión de salida del material*

*$D_{pa}$  es la dimensión de entrada del material*

Para el índice de trabajo, considerando que el aluminio, el material de mayor densidad, tiene una densidad relativa de 2.7, debido a que dentro de la tabla de la imagen 33 se encuentra un mineral de hierro, se utilizará un índice de trabajo de 12.84, como se muestra en la imagen 28.

| Material                      | Dens. rel. | Indice de trabajo, $W_i$ |
|-------------------------------|------------|--------------------------|
| Bauxita                       | 2,20       | 8,78                     |
| Clinker de cemento            | 3,15       | 13,45                    |
| Materias primas de cemento    | 2,67       | 10,51                    |
| Arcilla                       | 2,51       | 6,30                     |
| Carbón                        | 1,4        | 13,00                    |
| Coque                         | 1,31       | 15,13                    |
| Granito                       | 2,66       | 15,13                    |
| Grava                         | 2,66       | 16,06                    |
| Yeso                          | 2,69       | 6,73                     |
| Mineral de hierro (hematites) | 3,53       | 12,84                    |
| Piedra caliza                 | 2,66       | 12,74                    |
| Roca fosfática                | 2,74       | 9,92                     |
| Cuarzo                        | 2,65       | 13,57                    |
| Pizarra                       | 2,63       | 15,87                    |
| Esquisto                      | 2,57       | 14,30                    |
| Roca volcánica                | 2,87       | 19,32                    |

† Para molienda seca, multiplicar por 4/3.  
 ‡ Tomada de Allis-Chalmers, Solids Processing Equipment Div., Appleton, Wis., con autorización.

Imagen 30. Índices de trabajo para distintos materiales. Fuente: Bigorda Peiro “Molino pendular de 8000 kg/h”, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/2730>.

$$P_{\text{trituración}} = 0.406 * 0.3162 * 12.84 * \left( \frac{1}{3^{0.5}} - \frac{1}{10^{0.5}} \right) = 0.430 \text{ [kW]}$$

$$P_{\text{trituración}} = 0.576 \text{ [hp]}$$

Otra forma de calcular la potencia requerida para la trituración es considerando que la carga necesaria para la ruptura o cizalladura del aluminio 6063 es de 70 [N/mm<sup>2</sup>], que la capacidad de trituración es de 893.14 [kg/hr] y la densidad del aluminio es de 2700 [kg/ m<sup>3</sup>], obtenemos que:

$$P_{trituración} = 70 * 0.2481 * \frac{1}{2.7 \times 10^{-6}} = 6432222.2 \left[ \frac{N}{mm^2} * \frac{kg}{s} * \frac{mm^3}{kg} \right]$$

$$P_{trituración} = 6432.2 \left[ N * \frac{m}{s} = Watt \right]$$

$$P_{trituración} = 8.62 [hp]$$

Si se considera que únicamente se requiere una trituración de 24 [kg/hr], se tiene que:

$$P_{trituración} = 70 * 0.0067 * \frac{1}{2.7 \times 10^{-6}} = 173703.7 \left[ N * \frac{mm}{s} \right]$$

$$P_{trituración} = 173 \left[ N * \frac{m}{s} = Watt \right]$$

$$P_{trituración} = 0.23 [hp]$$

Por lo tanto, podemos concluir que un motor de ½ [hp] es funcional para nuestro sistema. Las especificaciones técnicas del motor eléctrico son las que se muestran en la imagen 29:

ESPECIFICACIONES:

Serie: Q2- D18.  
Potencia: 0.50 Hp (0.373 kW).  
Tensión: 115/230 V.  
Corriente: 9.2 / 4.6 A.  
Frecuencia: 60 Hz.  
Velocidad del rotor: 1,740 Rpm.  
Capacidad de arranque: 340 – 408 uF / 110 V.  
Armazón: 56.  
Protección IP23.  
Servicio: Continuo.  
Clase de aislamiento: B.  
Diseño: NEMA B.  
F.S: 1,25.  
Eficiencia nominal: 59,5%.  
Temperatura ambiente: 40 °C.  
Consumo a plena carga: 15.05 kWh/día.  
Consumo máximo a plena carga: 16.28 kWh/día.  
Calibre min del cable (AWG): 12.  
Dimensión de motor: Alto/Largo/Ancho: 17.5 x 27.5 x 17 cm.  
Flecha: 5/8" x 2 1/4".

Hecho en México.

Dimensión de Caja:  
35 x 20 x 23 cm.

Peso de Caja:  
9.905 kg.

Garantía: 18 meses  
\*A partir de la fecha de compra.

INCLUYE:

Motor Monofásico Siemens 1RF20000DB204AB1.  
Póliza de garantía.

*Imagen 31. Especificaciones técnicas del motor eléctrico. Fuente: Ferrepat (s/f). Recuperado de <https://www.ferrepat.com/detalles-landing/motor-monofasico-siemens-electromex-12-hp-115230v/13397>*

### 3.2 Diseño del eje de la trituradora

Una vez que ya se determinó la potencia requerida en el motor eléctrico, se comenzó el diseño de los componentes de la caja trituradora, en este caso específicamente en el eje sobre el cual se ensamblan las cuchillas. Si bien todas las partes son fundamentales para su funcionamiento, el eje es la parte primordial ya que a partir de esta pieza se puede determinar el diseño final de las cuchillas, *housing*, rodamientos y demás piezas para asegurar el funcionamiento de la caja trituradora.

Debido a que no se desea usar una gran cantidad de elementos para la sujeción de las cuchillas, se utiliza un eje con una forma hexagonal para facilitar su acoplamiento de estas.

Antes de realizar la selección del material del eje, se calcula la fuerza que éste requiere soportar.

Ecuación 6: torque en el eje (Ortiz Ortega, Edgar José; Tirado Abril, Ronald Julián [2005]. *Diseño y construcción de una trituradora de mandíbulas excéntricas elevada*. Colombia, Escuela de Ingeniería Mecánica/Universidad Industrial de Santander. Recuperado el 11 de agosto de 2021 de: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2005/116924.pdf>):

$$T_{eje} = \frac{P_{motor}}{\omega_{eje}} \left[ \frac{Nm}{\frac{s}{rad}} \right]$$

$T_{eje}$  es el torque en el eje

$P$  es la potencia del motor eléctrico

$\omega$  es la velocidad angular del eje.

$$T_{eje} = \frac{0.5 * 746}{1740 * \frac{\pi}{30}} [Nm]$$

$$T_{eje} = 2.05 [Nm]$$

Ecuación 7: fuerza en las cuchillas (Ortiz Ortega, Edgar José; Tirado Abril, Ronald Julián [2005]. *Diseño y construcción de una trituradora de mandíbulas excéntricas elevada*. Colombia, Escuela de Ingeniería Mecánica/Universidad Industrial de Santander. Recuperado el 11 de agosto de 2021 de: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2005/116924.pdf>):

$$F_{cuchillas} = \frac{T_{eje}}{r_{cuchilla}} \left[ \frac{Nm}{m} \right]$$

$T_{eje}$  es el torque en el eje

$F$  es la fuerza ejercida por las cuchillas

$r$  es el radio de las cuchillas.

$$F_{cuchillas} = \frac{2.05}{0.073} [N]$$

$$F_{cuchillas} = 28.1 [N]$$

Considerando que cada eje se compone por ocho cuchillas, la fuerza ejercida de la cuchilla sobre el eje es de 3.52 [N].

Para justificar el tamaño del eje, a continuación, se muestra el desarrollo matemático para justificarlo.

Debido a que el eje tiene una forma hexagonal, se realizó un análisis comparando el área transversal de éste e igualándolo a la fórmula para obtener el área de un círculo para obtener un radio teórico del eje.

$$\text{Área transversal eje} = 2234.9 [mm^2]$$

$$\pi r^2 = 2234.9 [mm^2]$$

$$r^2 = 711.4 [mm^2]$$

$$r = \sqrt{711.4} [mm^2]$$

$$r_{experimental} = 26.7 [mm]$$

Para analizar si el radio es el adecuado, a continuación, se realiza un análisis matemático mediante el análisis de fuerzas, reacciones y momentos ejercidos sobre el eje como se muestra en la imagen 30. Cabe mencionar que, para determinar la posición de la fuerza ejercida de las cuchillas sobre el eje, con ayuda del *software* Autodesk Inventor 2021 se obtuvo la posición del centro de gravedad de las cuchillas y tornillos prisioneros sobre el eje para ubicar la fuerza equivalente de las ocho cuchillas sobre el eje, en una sola posición.



Se sabe que la fuerza ejercida de las cuchillas sobre el eje es 41 [N].

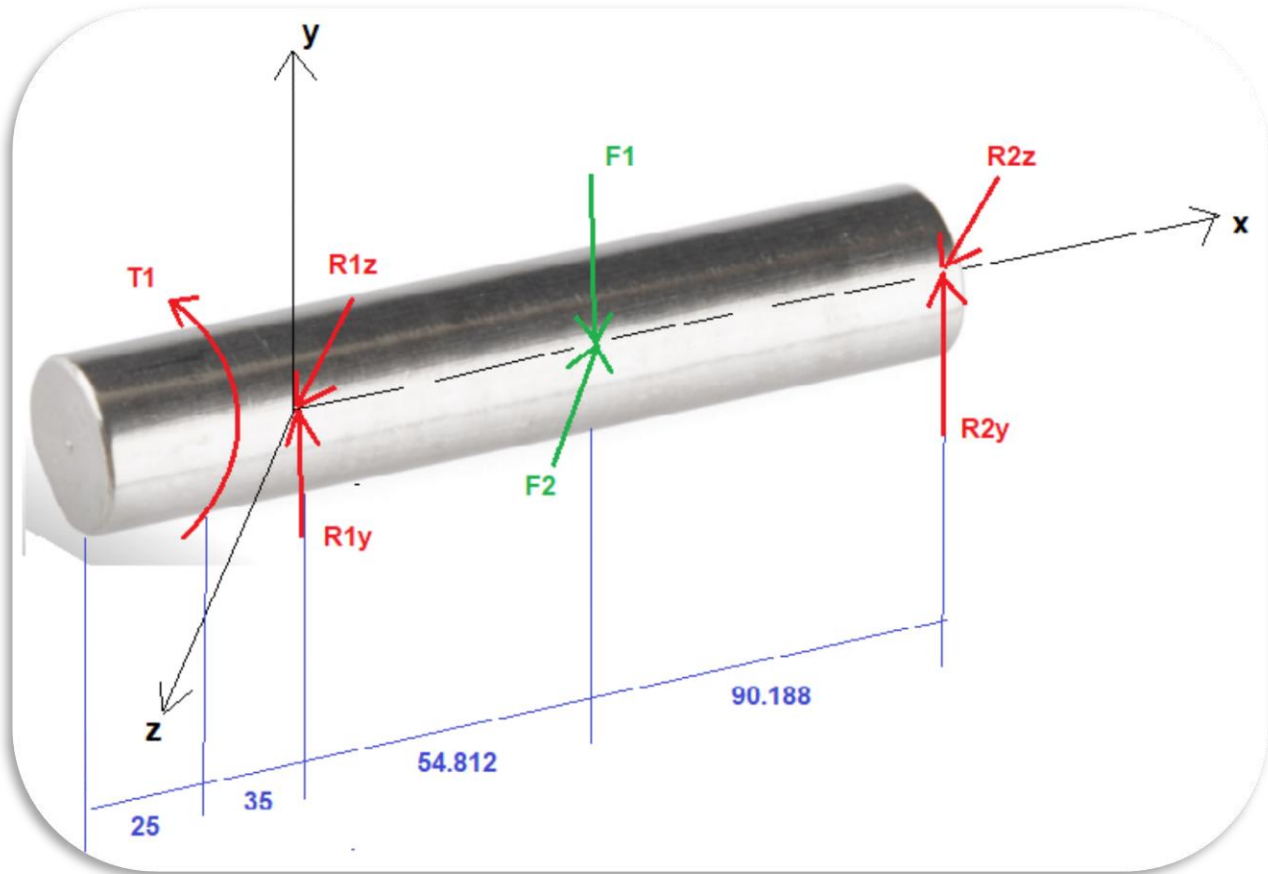


Imagen 32. Fuerzas ejercidas sobre el eje.

$$\sum MR1 = 0$$

$$-2.05i + 54.812i \times (-F1j - F2k) + 145i \times (R2j + R2k) = \vec{0}$$

$$-2.05i - 2247.3k + 2247.3j + 145 * R2k - 145 * R2j = \vec{0}$$

$$-2.05i = 0i$$

$$2247.3j - 145 * R2j = 0j$$

$$-2247.3k + 145 * R2k = 0k$$

Por lo tanto:

$$145 * R_{2y} = 2247.3$$

$$R_{2y} = \frac{2247.3}{145} = 15.49 [N]$$

$$145 * R_{2z} = 2247.3$$

$$R_{2z} = \frac{2247.3}{145} = 15.49 [N]$$

Por lo tanto, el valor de las reacciones en los rodamientos R2 es de 15.49 [N]. Este valor es importante para la selección del valor mínimo de carga estática del rodamiento en dicha posición.

$$R_{2y} = R_{2z} = 15.49 [N]$$

Para determinar el valor de las reacciones en los rodamientos R1, se realiza una sumatoria de fuerzas en el plano  $xy$  y posteriormente en el plano  $xz$ , por lo que se obtienen los siguientes cálculos:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{1y} - F_1 + R_{2y} = 0$$

$$R_{1y} = F_1 - R_{2y} = 41 - 15.49$$

$$R_{1y} = 25.51 [N]$$

$$\sum F_z = 0$$

$$R_{1z} - F_z + R_{2z} = 0$$

$$R_{1z} = F_z - R_{2z} = 41 - 15.49$$

$$R_{1z} = 25.51 [N]$$

Podemos analizar que el valor de las reacciones en el rodamiento R1 es mayor, por lo que al momento de realizar la selección de rodamientos, estos deben ser de mayor capacidad de carga estática en esta posición.

$$R_{1y} = R_{1z} = 25.51 [N]$$

Es importante obtener el valor del momento crítico al que está sometido el eje, por lo que, utilizando el plano  $xy$  y ubicando las fuerzas, se obtiene el momento respecto de R1 y, después, respecto de R2.

$$M_{R1y} = F1 * 54.812$$

$$M_{R1y} = 41 * 54.812$$

$$M_{R1y} = 2247.292 [Nm]$$

$$M_{R2y} = F1 * 90.188$$

$$M_{R2y} = 41 * 90.188$$

$$M_{R2y} = 3697.708 [Nm]$$

Al finalizar los cálculos se puede obtener que el momento crítico al que está sometido el eje es de 3697.708 [Nm].

Ecuación 8: esfuerzo cortante máximo 3.37 (G. Budynas, Richard y Keith Nisbett, J. [2008].

*Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw Hill, 8a. ed., p. 96).

$$\tau_{max} = \frac{Tr}{J}$$

$\tau_{max}$  es el esfuerzo cortante máximo

$T$  es el par de torsión al que está sometido el eje

$r$  es el radio del eje

$J$  es el segundo momento polar del área

$$\tau_{max} = \frac{(2.05)r}{\frac{\pi}{2}r^4} = \frac{1.3}{r^3} = \frac{1.3}{\left(\frac{d}{2}\right)^3}$$
$$\tau_{max} = \frac{10.4}{d^3}$$

Ecuación 9: esfuerzo máximo en flexión 3.26 (G. Budynas, Richard y Keith Nisbett, J. [2008].

*Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw Hill, 8a. ed., p. 86).

$$\sigma_{max} = \frac{Mr}{I}$$

$\sigma_{max}$  es el esfuerzo máximo

$M$  es el momento crítico al que esta sometido el eje

$r$  es el radio del eje

$I$  es el segundo momento del área

$$\sigma_{max} = \frac{Mr}{I} = \frac{Mr}{\frac{\pi}{4}r^4} = \frac{4M}{\pi r^3}$$
$$\sigma_{max} = \frac{4M}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3} = \frac{32(3697.708)}{\pi d^3}$$
$$\sigma_{max} = \frac{37664.544}{d^3}$$

Ecuación 10: esfuerzos principales 3.13 (G. Budynas, Richard y Keith Nisbett, J. [2008]. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw Hill, 8a. ed., p. 77).

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$\sigma_1$  es el esfuerzo principal máximo

$\sigma_2$  es el esfuerzo principal mínimo

$\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$  es el esfuerzo promedio, en este caso el esfuerzo máximo obtenido anteriormente

$\sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$  es el cortante máximo

Sustituyendo los valores del esfuerzo máximo en y el valor del cortante máximo:

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{37664.544}{2d^3} \pm \sqrt{\left(\frac{37664.544}{2d^3}\right)^2 + \left(\frac{10.4}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{1}{d^3} [18832.272 \pm 18832.27]$$

$$\sigma_1 = \frac{37664.54}{d^3}$$

$$\sigma_2 = \frac{-2.8 \times 10^{-3}}{d^3}$$

Para utilizar la teoría de Mohr modificado para materiales frágiles ( $\epsilon < 0.05$ ) para criterios de falla del libro de *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* se deben cumplir con los siguientes dos puntos:

$$\sigma_1 \geq 0 \geq \sigma_2$$

$$\left| \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right| \leq 1$$

Si  $d = 1$

$$\sigma_1 > 0 > \sigma_2$$

$$|7.4 \times 10^{-8}| \leq 1$$

Al cumplir los requerimientos, se puede utilizar la teoría de Mohr modificado:

Ecuación 11: Mohr modificado 5.30 (G. Budynas, Richard y Keith Nisbett, J. [2008]. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw Hill, 8a. ed., p. 247).

$$\sigma_1 = \frac{S_{ut}}{n}$$

$\sigma_1$  es el esfuerzo principal máximo

$S_{ut}$  es el esfuerzo último del material

$n$  factor de seguridad

Si el esfuerzo último para un acero AISI 1018 es de 370.25 [MPa]

$$\frac{37664.54}{d^3} = \frac{370.25 \times 10^6}{1.5}$$

$$\frac{1}{d^3} = \frac{246.83 \times 10^6}{37664.54}$$

$$d^3 = 1.52 \times 10^{-4}$$

$$d = 0.053 [m]$$

$$r = 0.0267 [m]$$

$$r_{teórico} = 26.72 [mm]$$

Finalmente, se puede concluir que el radio del eje cumple con los requisitos para los esfuerzos a los que será sometido, ya que el radio experimental cumple con el radio teórico del eje.

$$r_{experimental} = 26.7 [mm]$$

$$r_{teórico} = 26.72 [mm]$$

Una vez determinado el tamaño final y el material del eje, se realizaron las modificaciones finales a las piezas que componen la caja trituradora para efectuar el diseño final de cada una de las piezas que componen la caja trituradora y hacer un análisis de esfuerzos y desplazamientos de las piezas que están sometidas bajo ciertas sollicitaciones, las cuales son las calculadas en el punto anterior.

### 3.3 Análisis de esfuerzos y desplazamientos de piezas diseñadas

En las imágenes 31 y 32 se aprecia el diseño final de la cuchilla, adaptada para que sea ensamblada en un eje hexagonal. Se realizó una simulación fijando la cara interna de la cuchilla donde va ensamblado el eje y del cálculo de la  $F_{cuchilla}$  se obtiene un valor de 28 [N], aplicando un factor de seguridad de 1.5, se aplicó una fuerza de prueba de 42 [N] haciendo similitud al proceso de trituración y la carga a la que estarán sometidas cada una de las cuchillas.

En la imagen 31 se puede observar que el valor del esfuerzo máximo se encuentra entre uno de los filos y el cuerpo de la cuchilla, pero el valor es de 4.146 [MPa], considerando que el material con el que se encuentra fabricada la cuchilla es de acero 1015 y el valor del esfuerzo de cedencia es de 190 [MPa], por lo que se concluye que el diseño y material utilizado cumple con los requisitos.

Se puede terminar de verificar lo descrito al observar la imagen 32 y notar que el desplazamiento máximo es menor a 1 [mm].

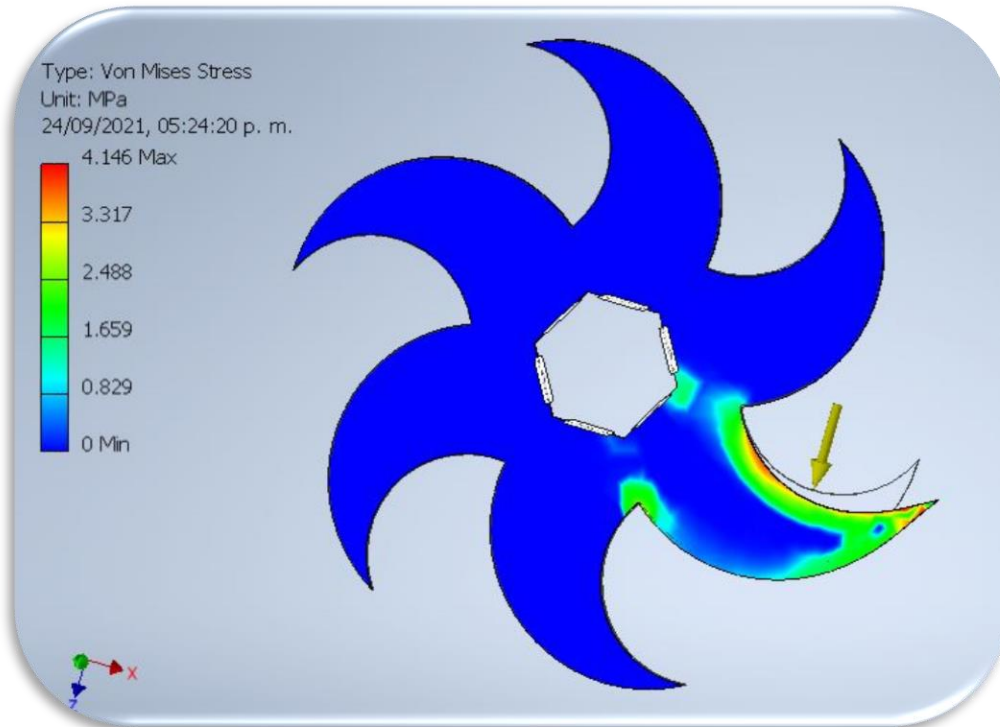


Imagen 33. Esfuerzos de Von Mises en la cuchilla [MPa].

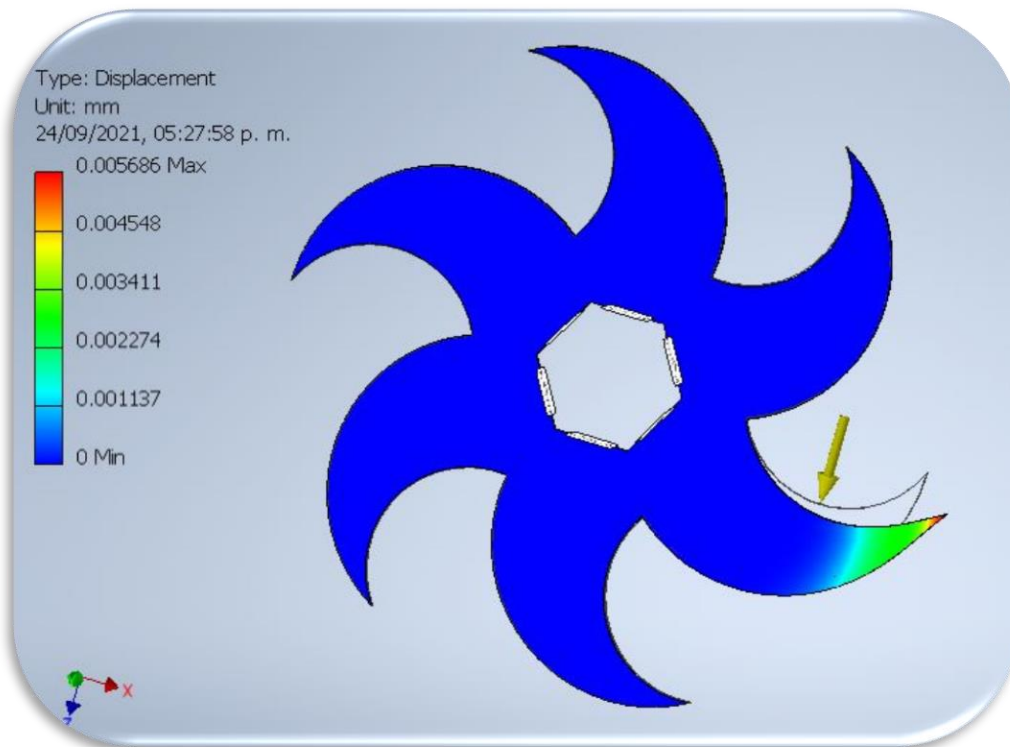


Imagen 34. Desplazamiento en la cuchilla [mm].



En las imágenes 33 y 34 se muestra el Housing, parte de la caja trituradora donde se encuentran apoyados ambos ejes junto con sus respectivos rodamientos y únicamente la parte frontal, ya que la tapa trasera es una pieza independiente pues sólo así pueden ser ensamblados los ejes. El Housing se encuentra manufacturado en placa de acero 1015 de 7/8 [in]; se utilizó esa dimensión ya que ese es el espesor de los rodamientos y éstos deben quedar completamente apoyados entre la cara externa del rodamiento y la cara interna de los agujeros del Housing. Finalmente, se puede observar en la imagen 33 que los esfuerzos provocados por las reacciones  $RA1y$  y  $RA1z$  calculados anteriormente y utilizando un factor de seguridad de 1.5, se utilizó una carga de prueba de 75 [N] en ambas caras, obteniendo un resultado aceptable ya que el esfuerzo máximo de Von Mises es menor a la unidad, por lo que el Housing soporta las solicitaciones a las que será sometida la caja trituradora.

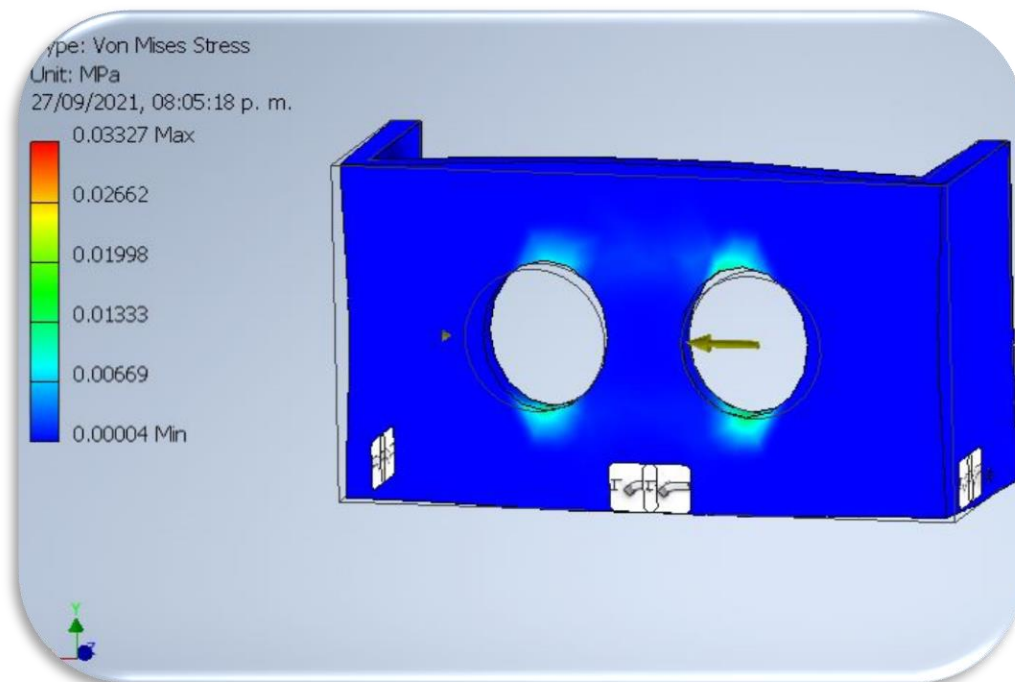
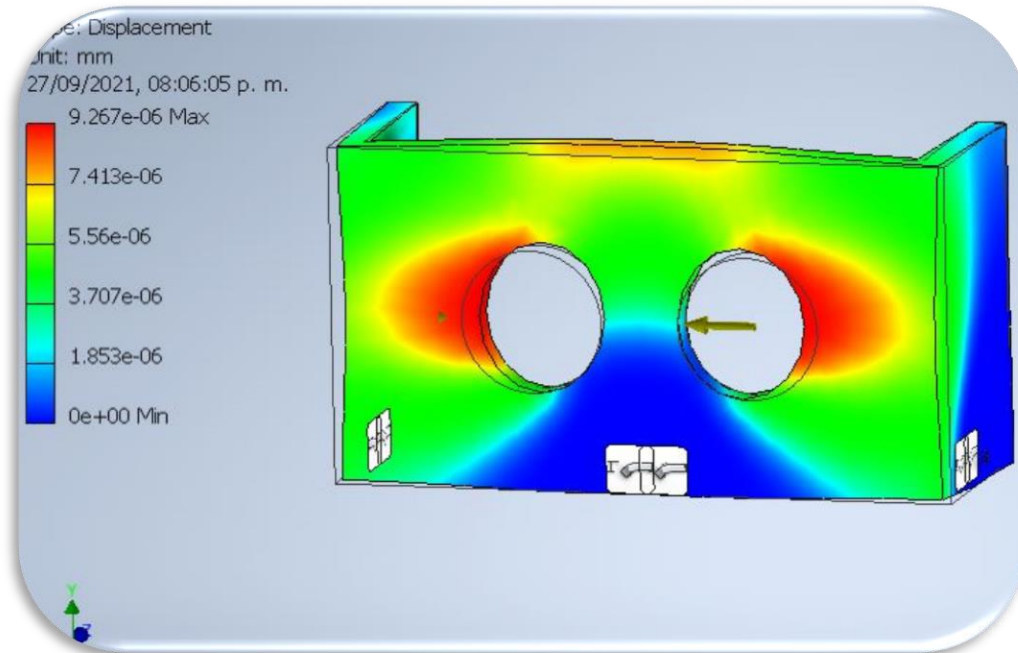


Imagen 35. Esfuerzos de Von Mises en el Housing [MPa].



*Imagen 36. Desplazamiento en el Housing [mm].*

En las imágenes 35 y 36 se muestra la tapa trasera de la caja trituradora mencionada en el punto anterior, se aplican los mismos materiales por las mismas razones expuestas para el Housing, pero las reacciones en los agujeros de estas imágenes son de 24 [N] cada una, obteniendo un esfuerzo máximo de 0.02 [MPa], por lo que es una pieza funcional.

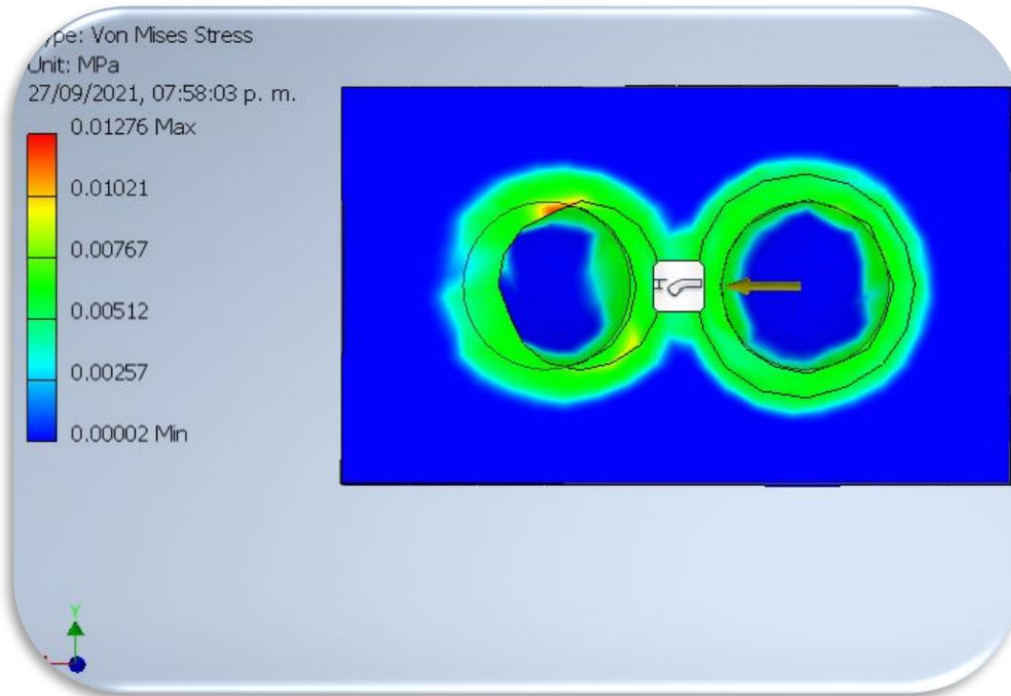


Imagen 37. Esfuerzos de Von Mises en el Housing (Tope) [MPa].

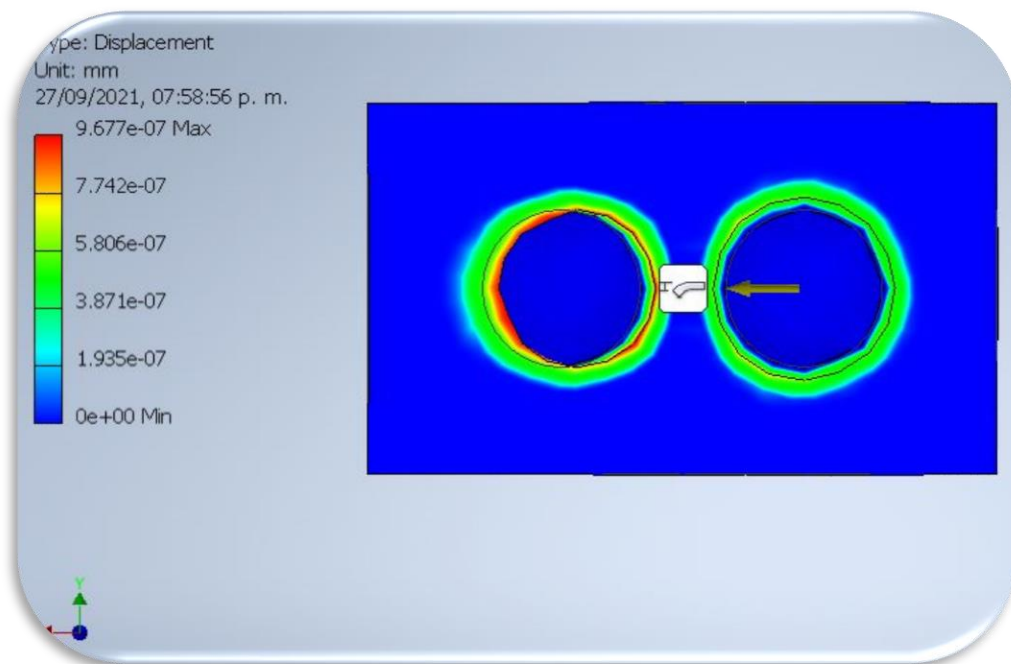


Imagen 38. Desplazamiento en el Housing (Tope) [mm].

En las imágenes 37 y 38 se muestra el diseño final del eje y la comprobación de que los cálculos para el diseño del eje son correctos, ya que con el material utilizado y la dimensiones con las que cuenta el eje, se obtiene un valor de esfuerzo máximo de 0.11 [MPa], un desplazamiento menor a 1 [mm] en el punto crítico y estos valores se obtienen al proponer una carga de prueba de 42 [N] obtenida de las  $F_{cuchillas}$  por un factor de seguridad de 1.5, situada en el centro de gravedad.

Cabe mencionar que el eje 2 tiene pequeños cambios en la distribución de los barrenos, pero al realizar pruebas de ubicación del centro de gravedad de las piezas y efectuar una comparación entre ambos, se encontró que la variación de la ubicación del centro de gravedad es de 1 [mm], por lo que se concluyó que no es necesario realizar un análisis específico para cada eje.

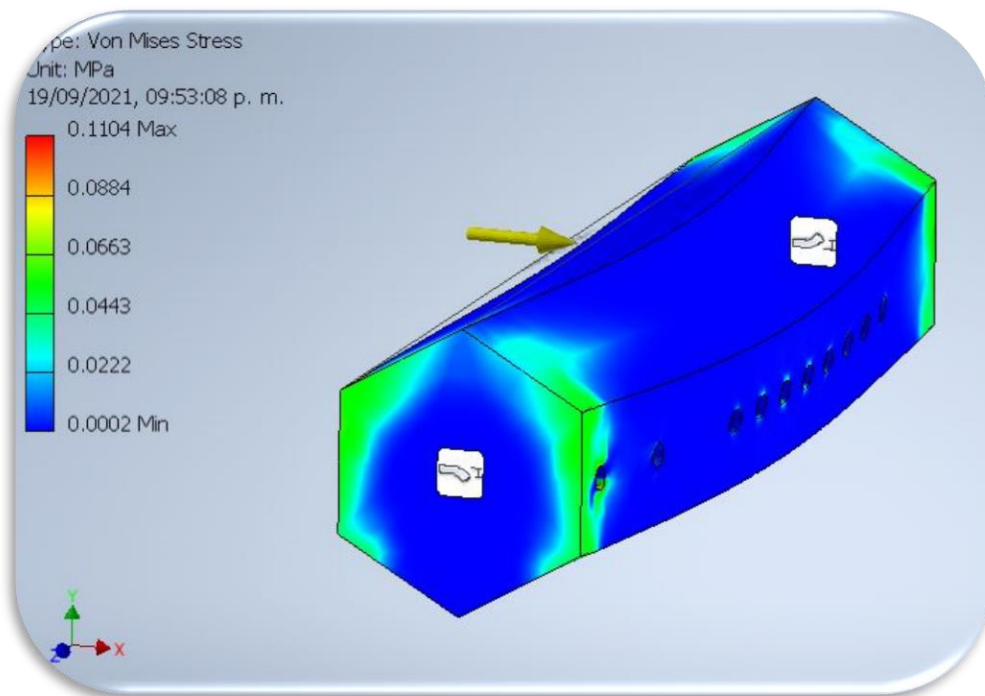


Imagen 39. Esfuerzos de Von Mises en el Eje [MPa].

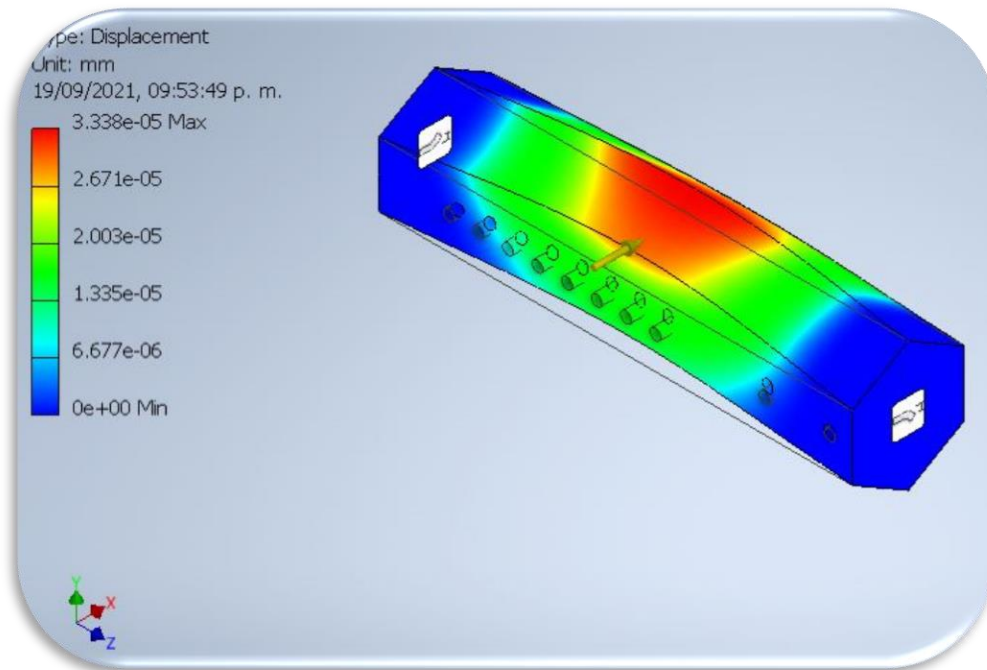


Imagen 40. Desplazamiento en el Eje [mm].

En la imagen 39 se muestra la fuerza tangencial en los dientes y la cuña del engrane donde se ensamblan los acopladores entre el eje y el engrane. Cabe mencionar que la cuña se diseña con base en la “Tabla 7-6 Dimensiones en pulgadas de algunas aplicaciones de cuñas cuadradas y rectangulares estándar” (Richard, Budynas y J. Keith, 2008, p. 379) donde a partir del tamaño del eje se define el tamaño de la cuña. Para ambas fuerzas se utilizaron las calculadas en la  $F_{cuchillas}$  donde se obtuvo un valor de 42 [N] ya con el factor de seguridad de 1.5, por lo que finalmente resultó un valor de 1.5 [MPa] en las zonas de mayor concentración de esfuerzos y considerando que el límite elástico para un acero AISI 1020 es de 304 [MPa] se tiene un engrane que resiste las fuerzas a las que será sometido. Es por eso que en la imagen 40 donde se muestra el desplazamiento máximo es menor a 1 [mm].

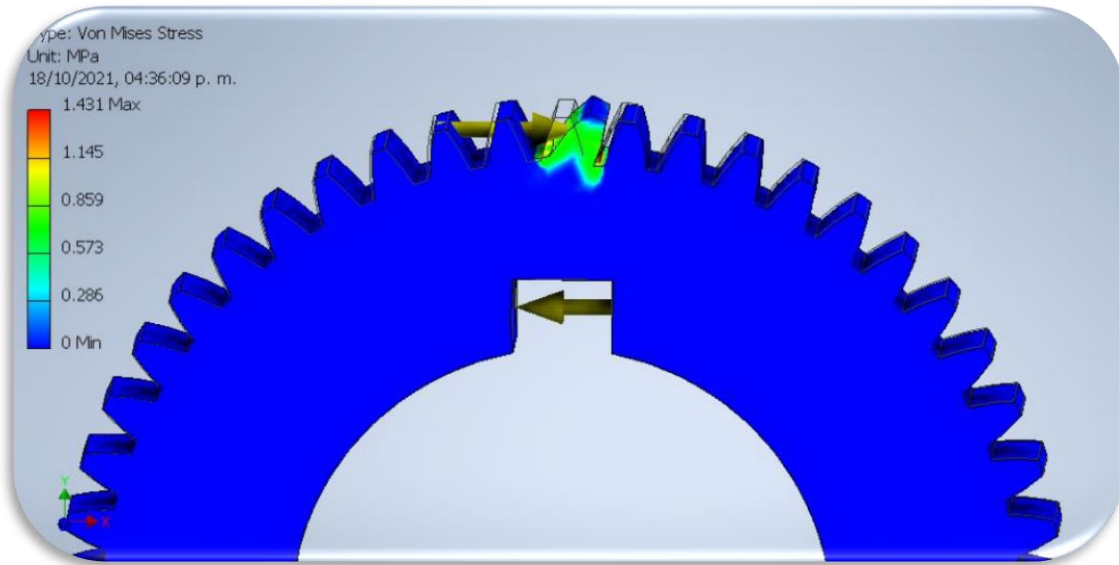


Imagen 41. Esfuerzos de Von Mises en el Engrane [MPa].

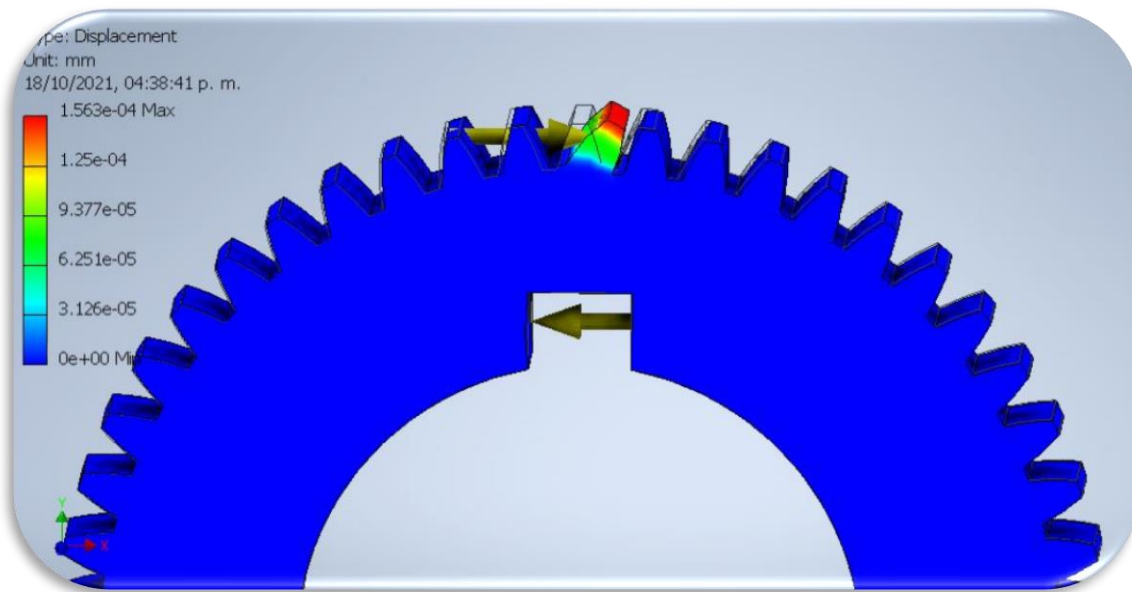


Imagen 42. Desplazamientos en el Engrane [mm].

Finalmente, para el acoplamiento entre los engranes y el eje, se diseñó una pieza en acero 1045 donde se simuló las fuerzas a las que será sometido el acoplamiento, donde se fijó la cara externa de la pieza y se implementaron dos fuerzas opuestas.

Una en la cara que hace contacto con la cuña del engrane y la otra en la cara interna donde se ensambla el eje, para ambos casos se utilizaron cargas de 42 [N] obtenidas de cálculos anteriores, donde en la imagen 41 se observa un valor máximo de esfuerzos de Von Mises de 0.5 [MPa], lo que significa que el diseño de la pieza es funcional, por los mismo en la imagen 42 se observa un desplazamiento menor a 1 [mm].

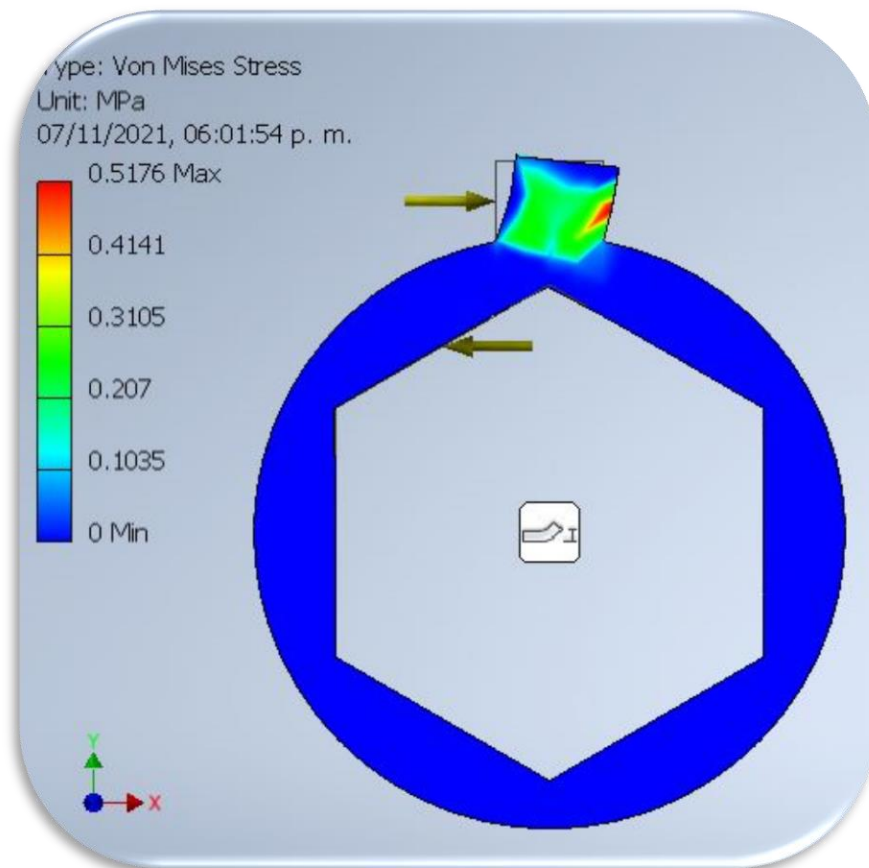


Imagen 43. Esfuerzos en el Cople [MPa].

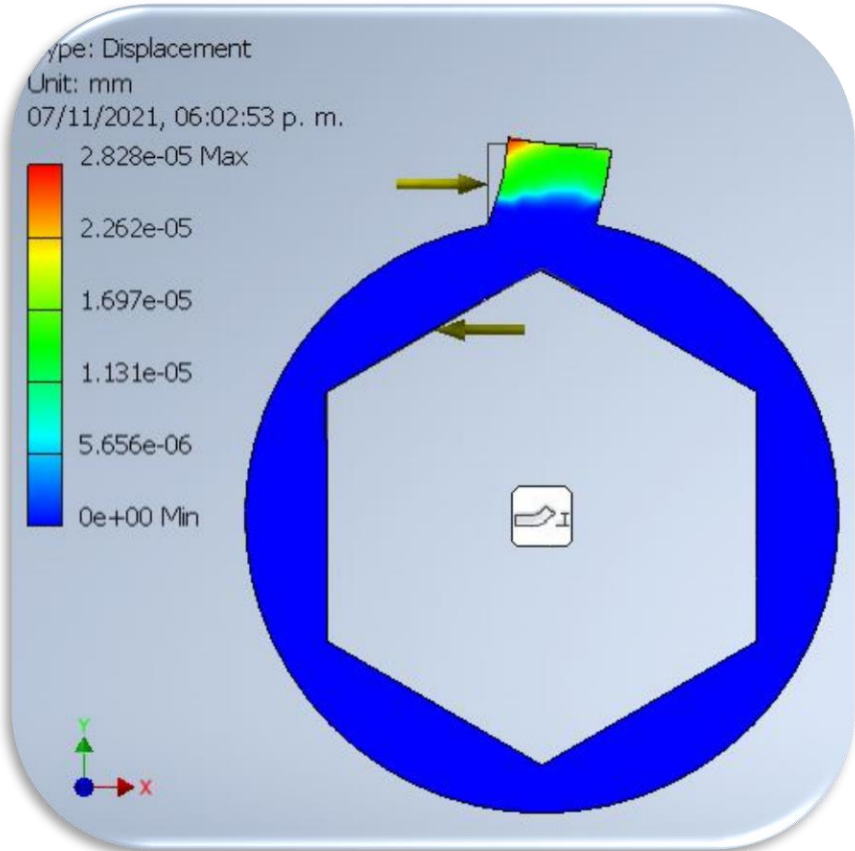


Imagen 44. Desplazamientos en el Cople [mm].



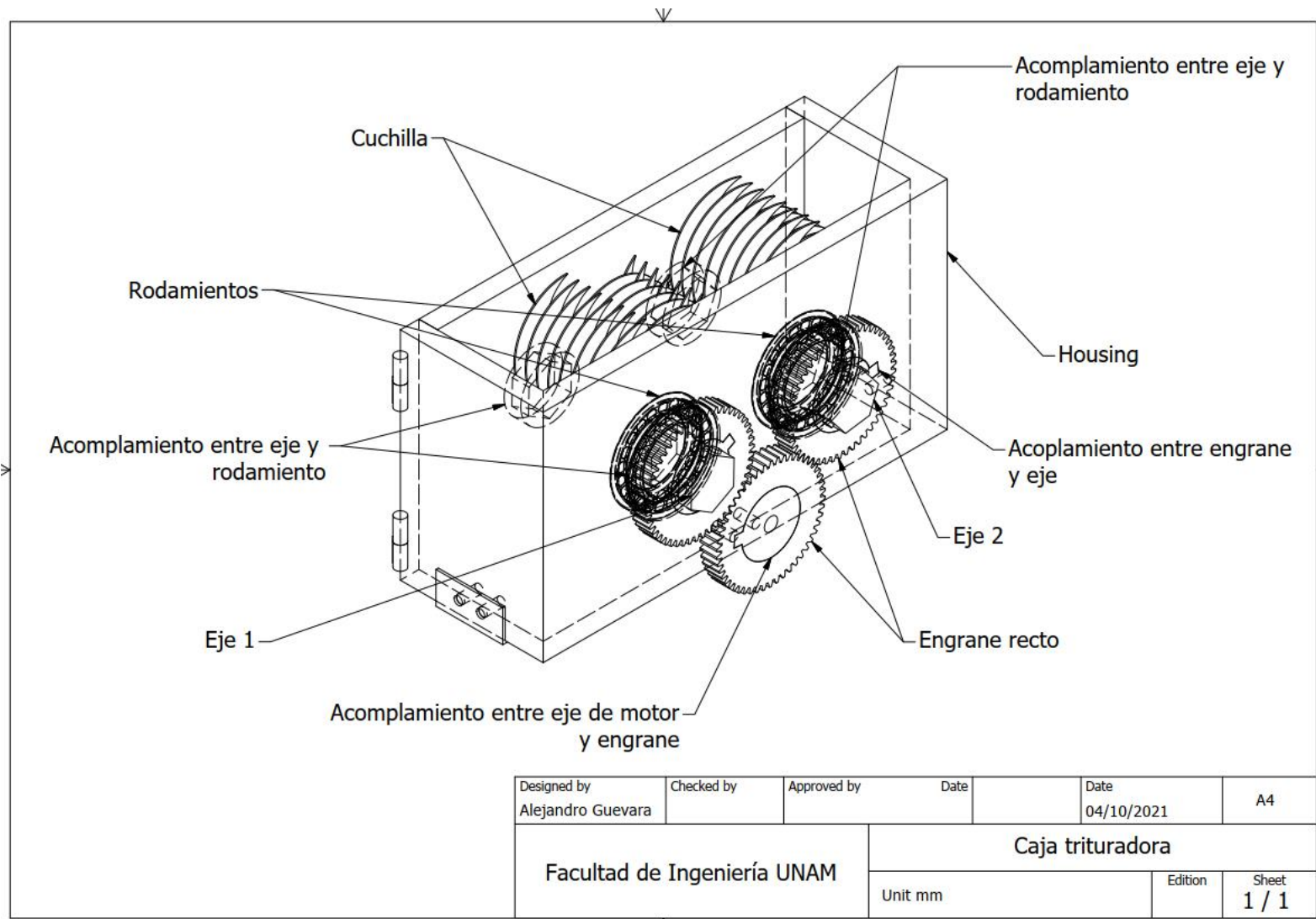
### **3.4 Planos de fabricación de piezas diseñadas**

Una vez realizado el análisis de esfuerzos estáticos de las piezas, verificando que el material y el diseño cumplieran con las solicitaciones a las que serían sometidas, se realizaron los planos de fabricación de cada una de las piezas, tal como se muestra en las siguientes imágenes.

Es importante mencionar que hay dos piezas para las cuales no se realizaron pruebas de ingeniería donde se aplicará una fuerza, esto es para el tope del *housing* y el cople entre eje y rodamiento, ya que el primero únicamente funge como tope y seguro para los rodamientos.

Por último, para el cople no se realizaron pruebas ya que su función es facilitar el giro del eje junto con los rodamientos y no hay fuerzas opuestas que pudieran deformar la pieza.

En la imagen 43 se muestra una vista isométrica del ensamble final de la caja trituradora y cada uno de sus componentes.



|                                  |            |             |                  |                    |                |
|----------------------------------|------------|-------------|------------------|--------------------|----------------|
| Designed by<br>Alejandro Guevara | Checked by | Approved by | Date             | Date<br>04/10/2021 | A4             |
| Facultad de Ingeniería UNAM      |            |             | Caja trituradora |                    |                |
|                                  |            |             | Unit mm          | Edition            | Sheet<br>1 / 1 |

Imagen 45. Vista Isometrica de la caja trituradora.

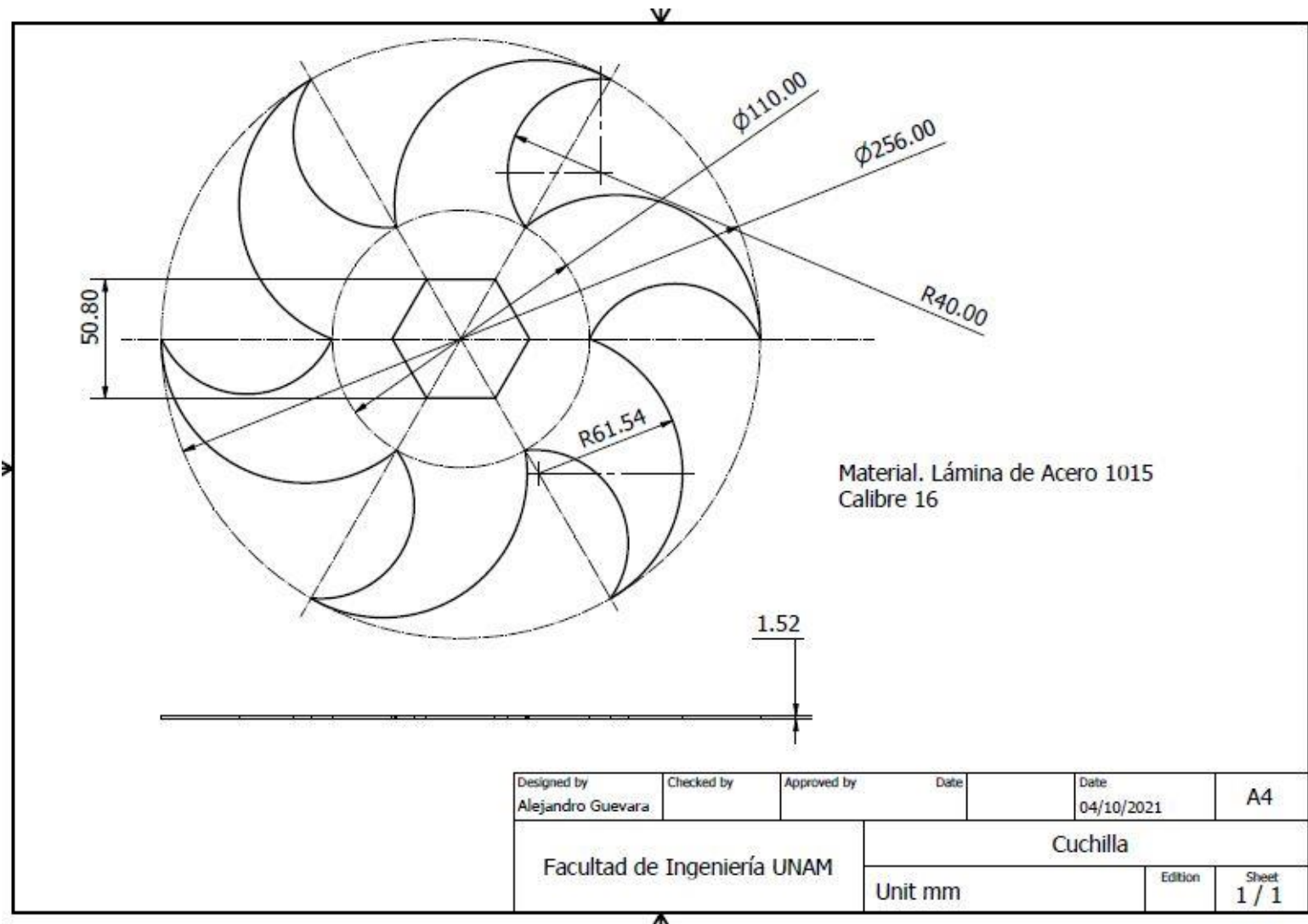


Imagen 46. Plano de fabricación de la cuchilla.

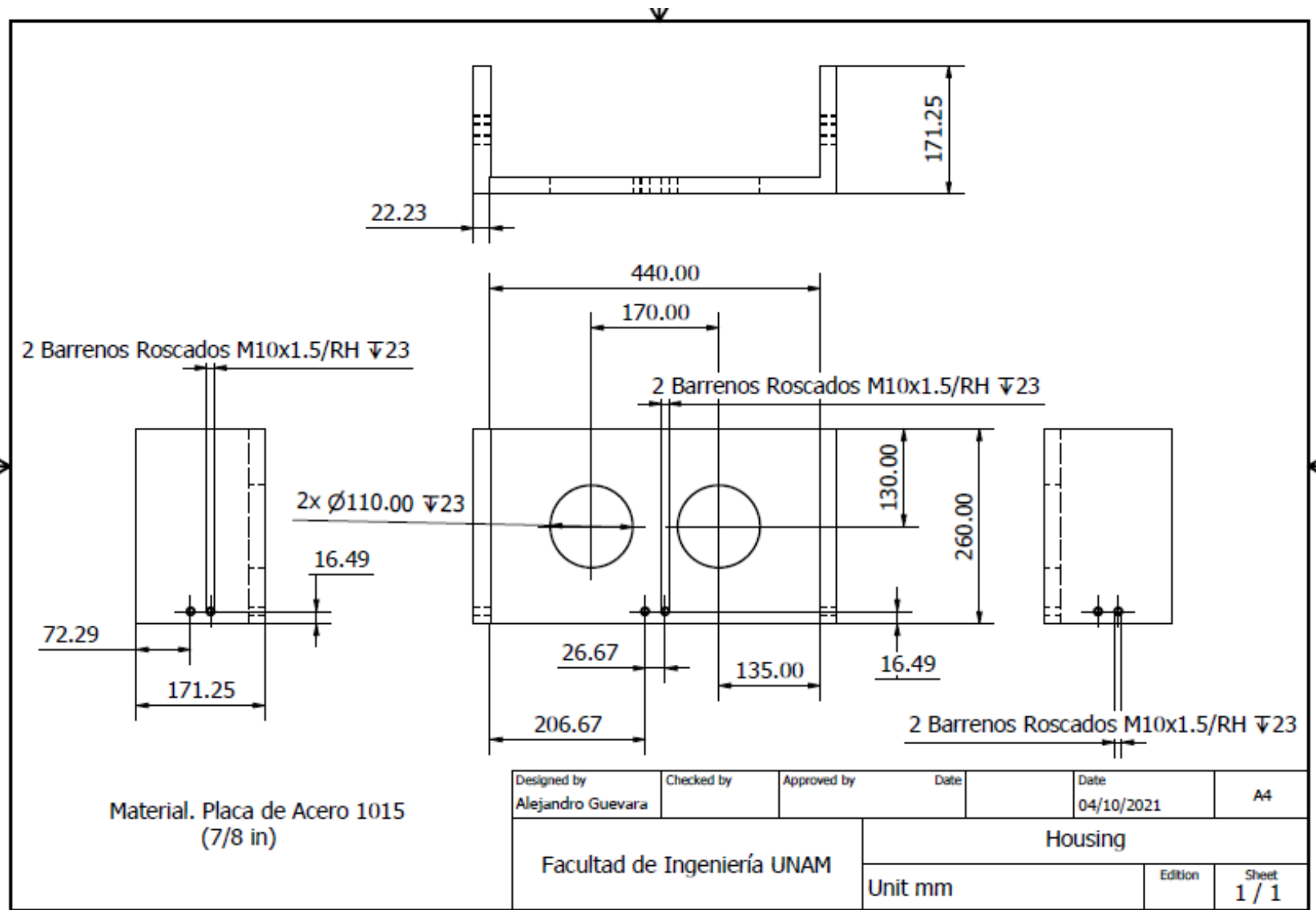


Imagen 47. Plano de fabricación del housing.

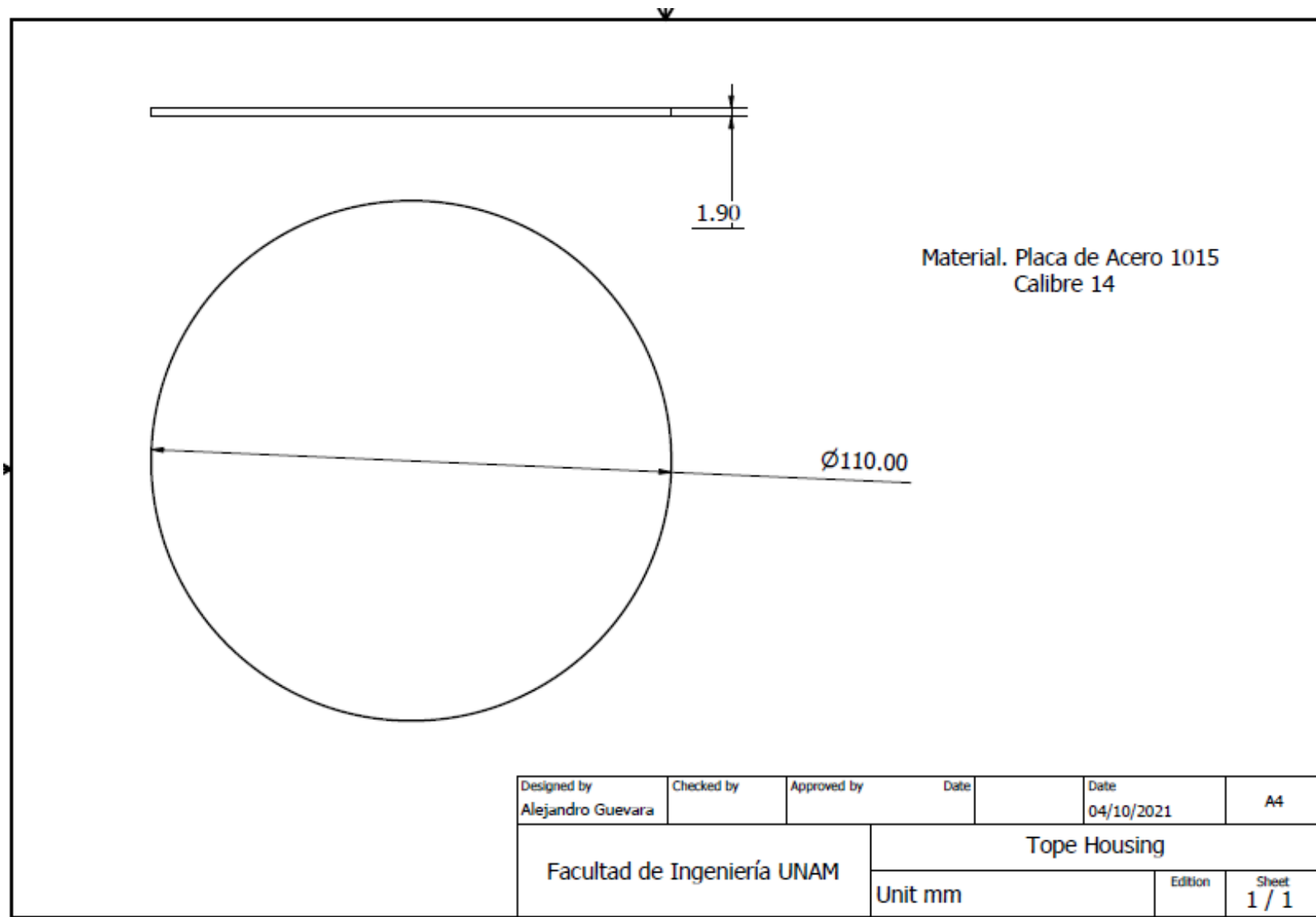


Imagen 48. Plano de fabricación del housing tope.

Imagen 47. Plano de fabricación del Tope Housing.

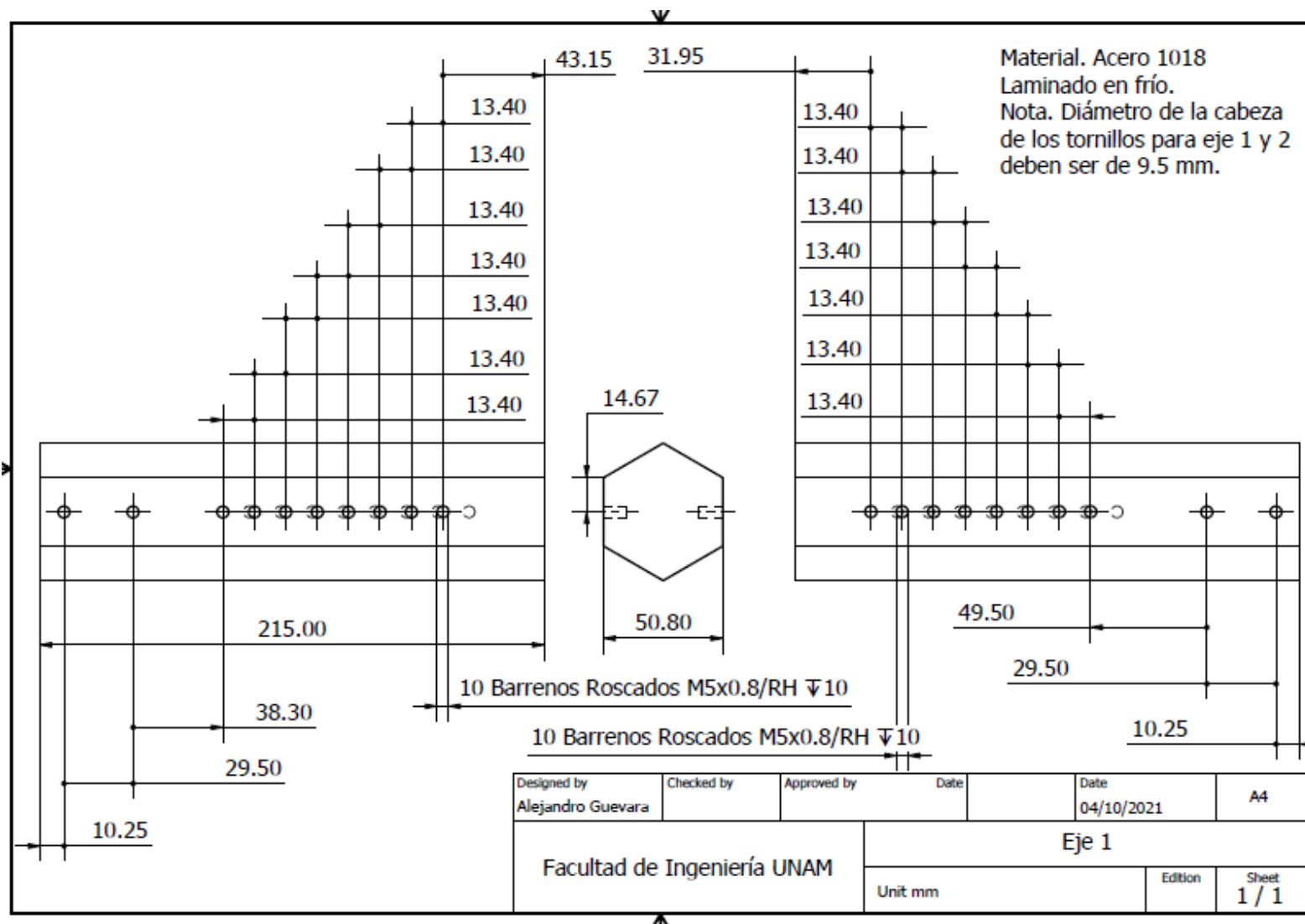


Imagen 49. Plano de fabricación del eje 1.

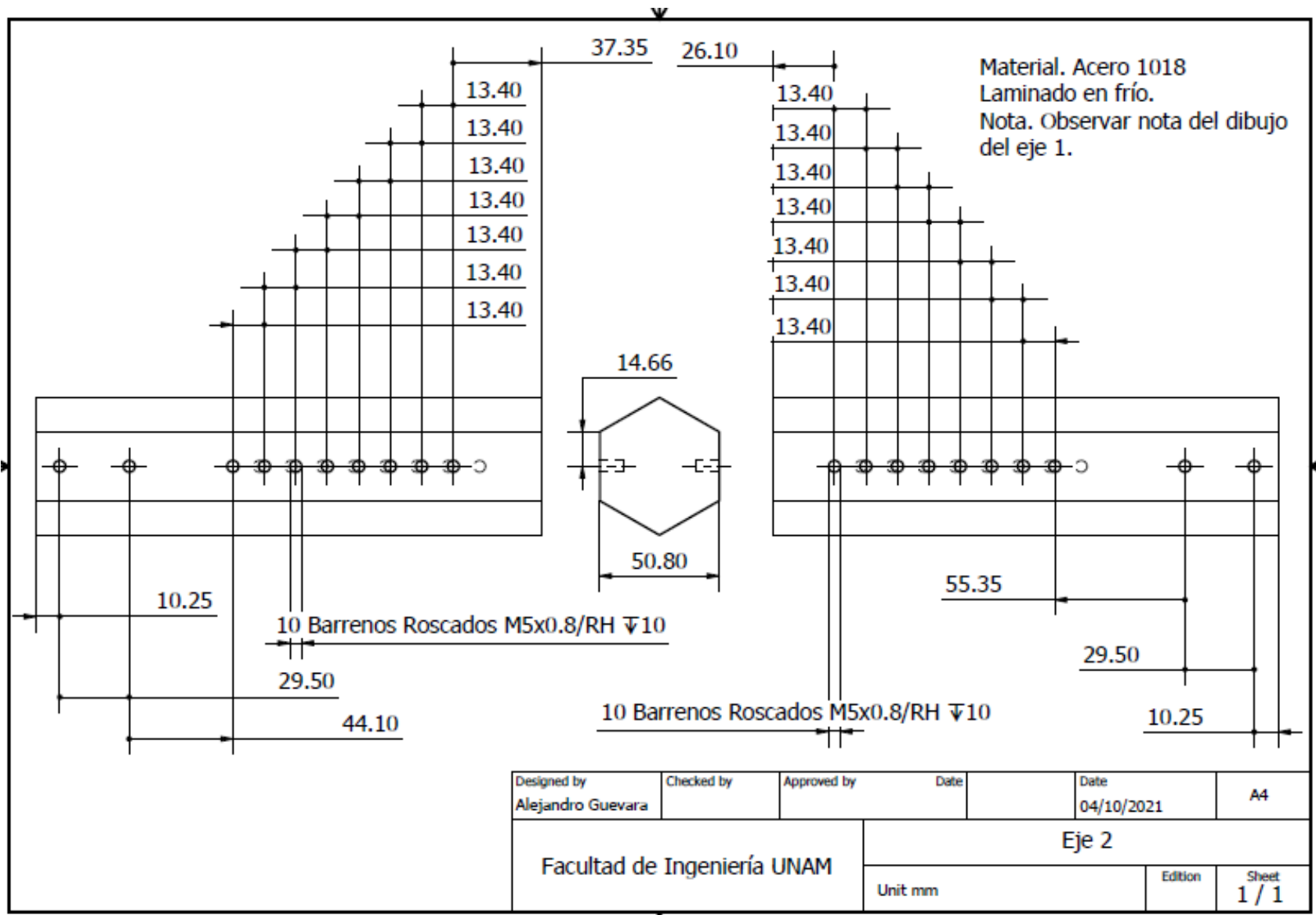


Imagen 50. Plano de fabricación del eje 2.

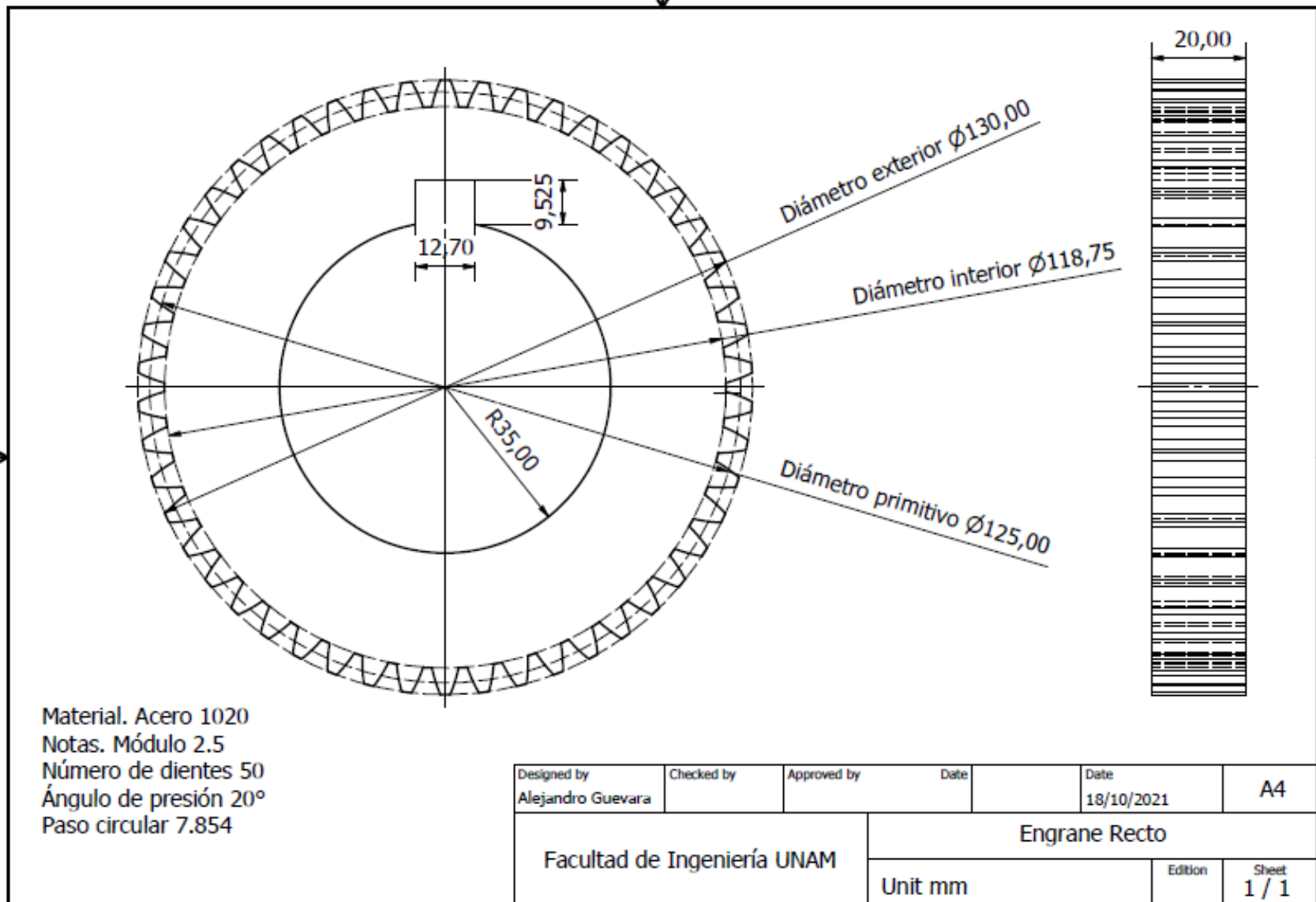


Imagen 51. Plano de fabricación del engrane.



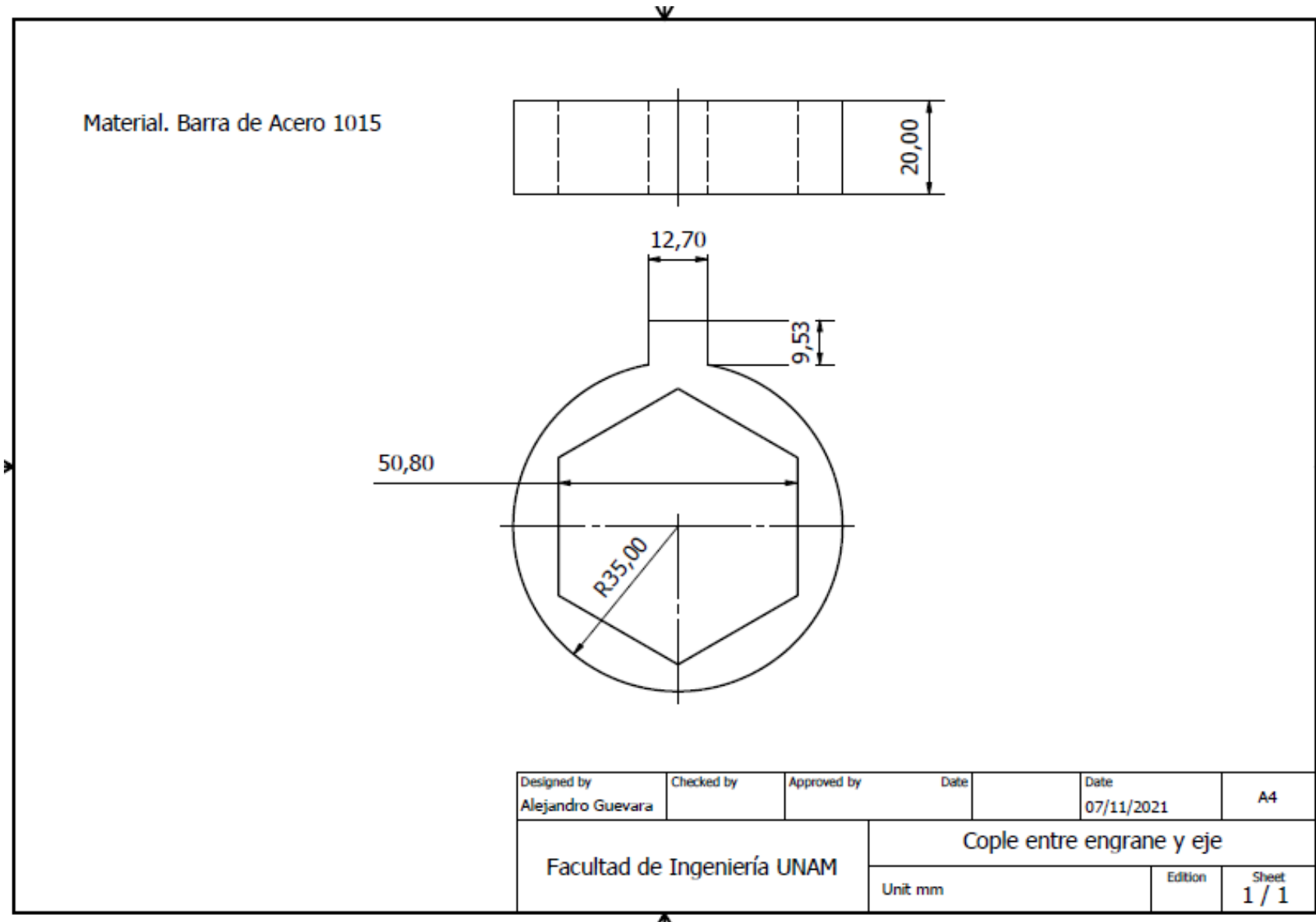


Imagen 52. Plano de fabricación del cople entre engrane y eje.

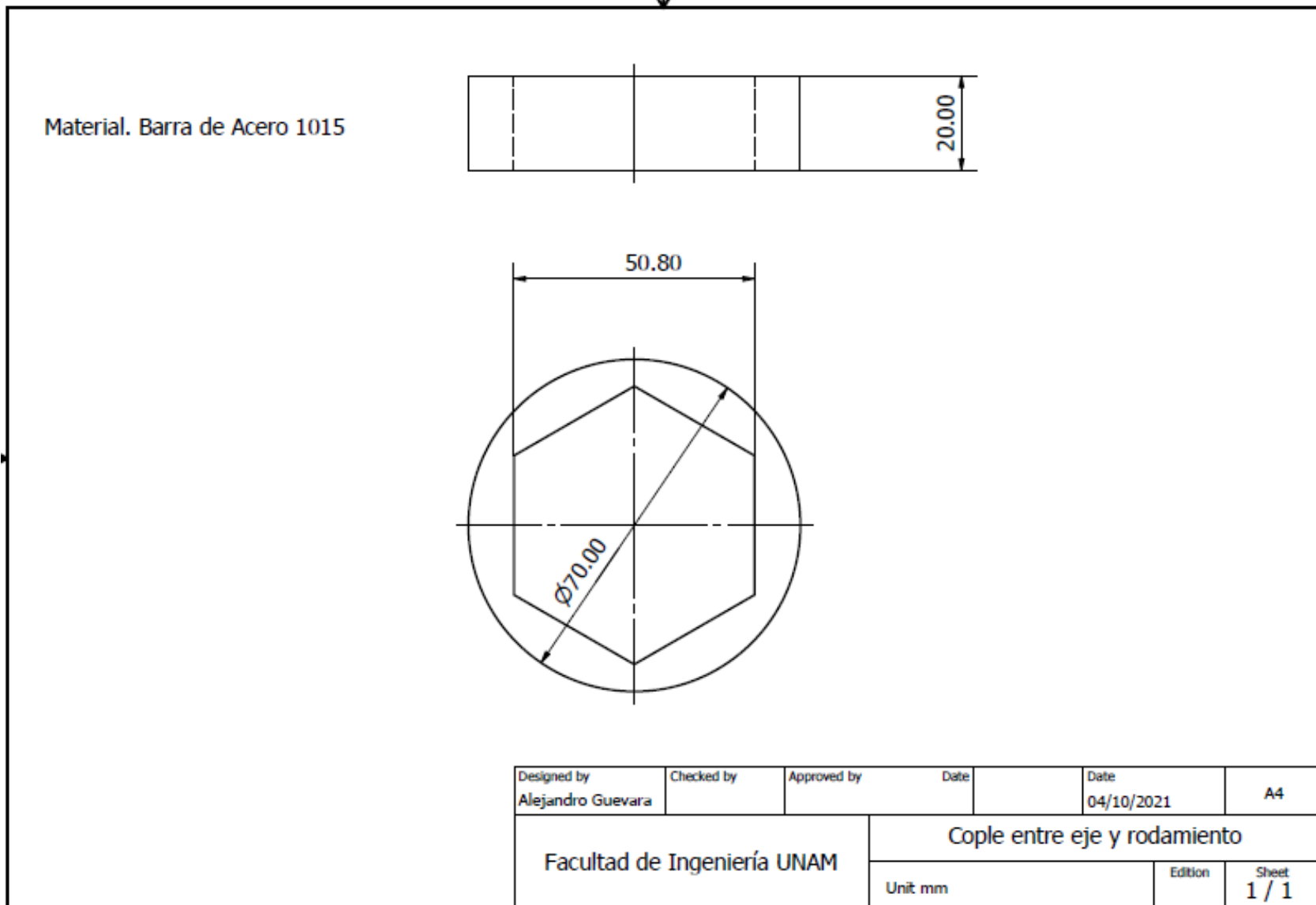


Imagen 53. Plano de fabricación del cople entre eje y rodamiento.

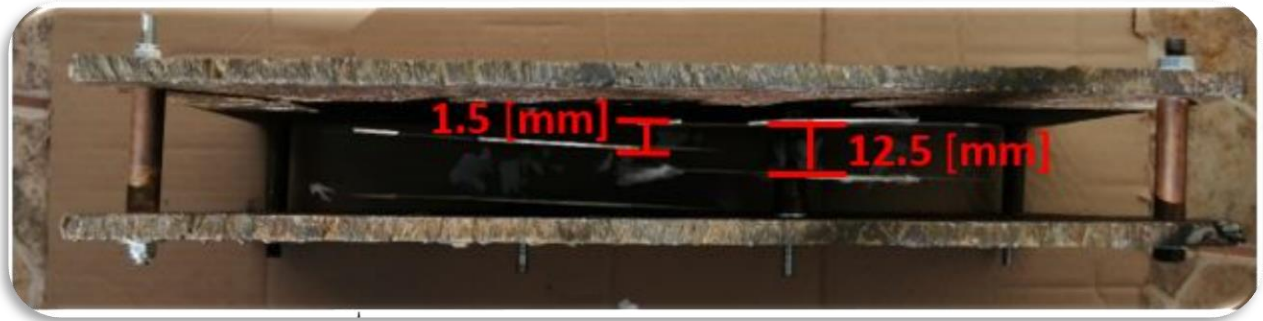
#### **IV. Pruebas de funcionamiento y mejoras**

Para un proyecto de ingeniería es importante realizar prototipos funcionales de pruebas, ya que hacer cambios en el diseño conceptual es más sencillo y económico, que efectuar cambios en una etapa de manufactura de una máquina, producto, etc. Por ello, se llevaron a cabo pruebas para ambos sistemas: en el apartado 2.5 en el que, durante el desarrollo del concepto se fabricó un prototipo para el sistema de separación, y en este apartado se realizó para el sistema de trituración.

Para poder prototipar el sistema, se manufacturaron cuatro cuchillas mediante corte por chorro de agua, con una modificación al diseño original, ya que en el centro en lugar de hacer la forma hexagonal del eje, se realizó un barreno circular de 8 [mm] de diámetro para adaptar un eje circular provisional de acero inoxidable y soldar la cuchilla al eje.

La decisión del tamaño de dicho barreno y eje es debido a que el eje se ensartó en la boquilla de un taladro eléctrico y, debido a que la apertura de dicha boquilla no es muy grande, esto limitó el tamaño del eje.

Una vez determinado el tamaño del eje y manufacturadas las cuchillas, se decidió soldar éstas últimas al eje, ya que debido a que es un prototipo, no es relevante considerar el intercambio de las cuchillas sin dañar el eje, por lo que el método de fijación se llevó a cabo mediante soldadura por arco eléctrico, con una separación entre ambas de 12.5 mm y desfasada 1.5 mm con respecto a la ubicación de las cuchillas en el otro eje, como se muestra en la imagen 52.



*Imagen 54. Posición de cuchillas en la caja trituradora prototipo.*

En una primera prueba del prototipo se propuso que no se adquirieran rodamientos, que únicamente se ubicaran los ejes con las cuchillas en la posición ideal como se muestra en la imagen 53, sin manufacturar una caja donde fueran ensamblados los ejes con las cuchillas, como se había propuesto en el diseño conceptual, pero al accionar un juego de ejes con el taladro, es de suma importancia apoyarlos y asegurarlos en su posición, ya que el taladro gira a 1600 [rpm] y girar dos ejes a dichas revoluciones sin un apoyo fijo, es muy posible generar una colisión entre cuchillas, por lo que resulta sumamente peligroso para los usuarios que accionan los taladros eléctricos.



*Imagen 55. Primera propuesta de funcionamiento del prototipo*

Una vez analizada dicha situación, por seguridad, se adaptó un cubrebocas KN95 a una esquina de un polín de madera para simular la caída de la mascarilla de forma segura en los trituradores y únicamente con un juego de cuchillas en un eje, accionarlo con el taladro eléctrico y así obtener resultados como se muestra en el video, adjunto en la liga del código QR en la imagen 54.

Finalmente, como primera propuesta para el funcionamiento del prototipo, la cual es verificar que el sistema atraparé y triturará la mascarilla, el resultado fue positivo, pues con únicamente dos cuchillas en un solo eje, atrapó la mascarilla y la trituró, obteniendo residuos de material triturado entre 11 y 16.9 [mm] de tamaño, por lo que el diseño original cumple con el objetivo, ya que el diseño de las cuchillas y en la forma que se posicionan, al momento de rotar ambos ejes, las cuchillas se encuentran de manera opuesta, lo que termina de asegurar que las cuchillas atraparán las mascarillas. Cabe mencionar que la prueba se realizó sin afilar las cuchillas,

considerando que en el diseño original éstas llevan un filo, es posible asegurar que las cuchillas podrán triturar la mascarilla sin problema alguno.

Debido a que el prototipo es manipulado al momento de sostener la mascarilla con el polín de madera, el resultado no es del todo positivo, por lo que se decidió fabricar una caja trituradora prototipo con el uso de dos placas de acero de 2 [in] cada una y realizando dos barrenos de 12 [mm] de diámetro en cada placa, con una separación entre centros de 170 [mm] como se propone en el diseño conceptual. El diámetro de los barrenos es mayor al tamaño del diámetro del eje, ya que se utilizarán unos rodamientos de bolas de carga radial, con un diámetro externo del de los barrenos realizados en las placas, esto para fijar los ejes y obtener un giro suave y continuo.

En la imagen 55 se puede apreciar el ensamble de los ejes y los rodamientos en la placa de acero. Cabe mencionar que además de los barrenos para los ejes, se realizaron otros cuatro en cada una de las esquinas de la placa, esto para fijar ambas placas con unos pernos de seguridad, fijar una distancia entre ambas y asegurar que al momento de que giren las cuchillas no pueda existir una colisión entre éstas.



*Imagen 56. Código QR con imágenes y videos del prototipo de la caja trituradora.*



*Imagen 57. Placa de acero con ensamble de ejes y pernos de seguridad en las esquinas.*

Una vez fijadas las placas y los ejes, se accionó el sistema prototipo de trituración empleando dos taladros eléctricos fijados a cada uno de los ejes, teniendo como resultado el giro de cada uno de los ejes a 1600 [rpm].

El resultado es positivo, ya que se obtiene un cubrebocas triturado. Lo anterior se puede observar en los videos dentro del código que se muestra en la imagen 54. Es de destacar que en el video se puede apreciar que el cubrebocas, debido al giro de una de las cuchillas, se desplaza hacia la parte lateral derecha de la caja trituradora, pero teniendo en cuenta que en el diseño original, la caja trituradora cuenta con una tolva en la parte superior por donde caen los cubrebocas y que el sistema se acciona después de cierto número de mascarillas acumuladas, las cuchillas inducen la mascarilla de nuevo a la parte central para triturarlas.

Para constatar que el sistema no requiere de ninguna otra adaptación y es funcional, se fabricó una tolva prototipo como se muestra en las imagenes dentro del código en la imagen 54.

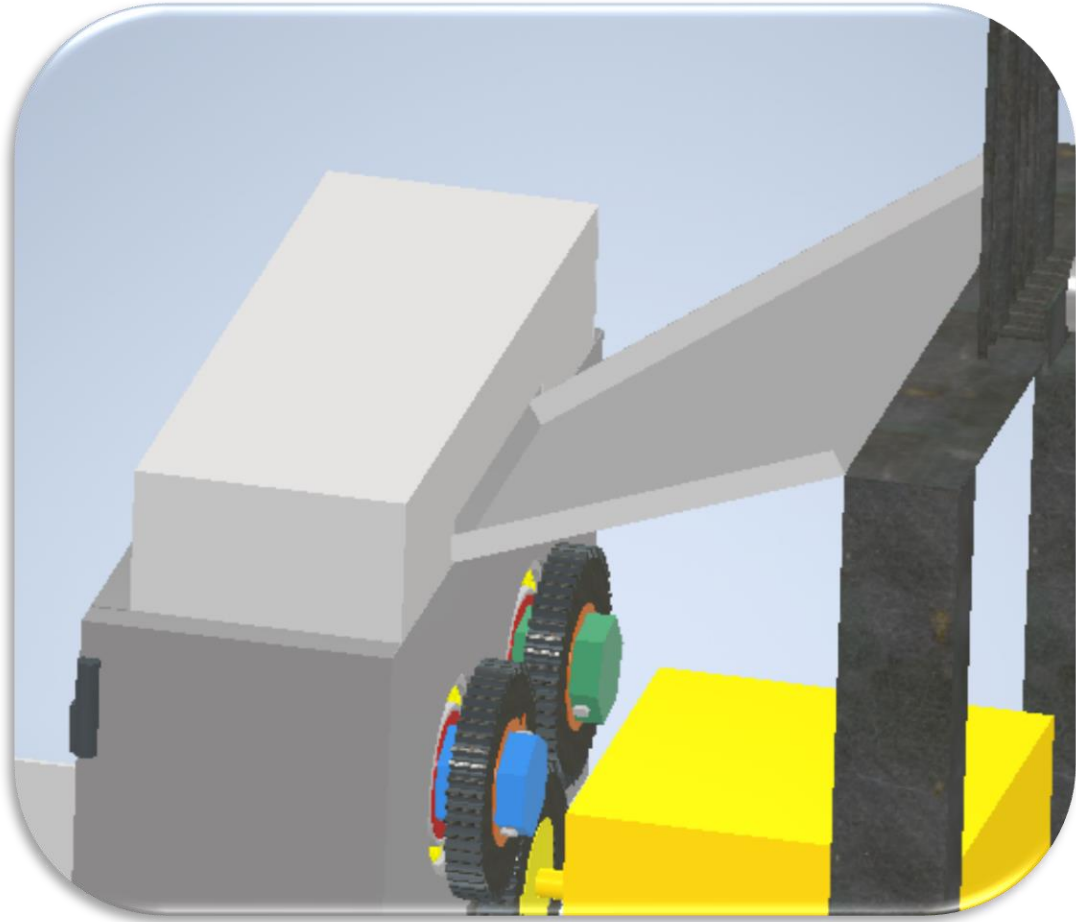
En esta carpeta a la que es direccionado el usuario, se muestra en la imagen 19 un breve video de la caja trituradora prototipo con la adaptación de la tolva. Como puede constatarse, debido a que el material es muy ligero y a consecuencia de las altas revoluciones a las que giran las cuchillas, el material triturado recircula fuera de la caja trituradora, por lo que no todos los residuos caen en lugar deseado.

Es por ello que se decide fabricar una cubierta en la parte superior de la tolva, dejando únicamente una abertura por donde ingresarán las mascarillas, logrando tener un control total de los residuos triturados, restringir su salida por la parte superior de la caja y que únicamente se acumulen en la parte inferior de la antes mencionada, como se planteó en el diseño original. Es importante indicar que la cubierta de la parte superior para el diseño original se muestra en la imagen 56, donde se observa que la tolva se adapta a la lámina que transporta los cubrebocas; de igual forma esta misma lámina requirió un rediseño para que las mascarillas tuvieran una trayectoria de modo que logran ingresar en la caja trituradora.

Por último, en la imagen 57, puede apreciarse una vista isométrica de la propuesta final del diseño de los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95. Donde la primera parte del sistema, la de separación, la cual esta compuesta por el sistema de varillaje por el cual se deslizarán los cubrebocas y posterior a esto, el sistema de trituración, donde el componente externo seria representado por el *housing*.

Finalmente, se muestra una cubierta con la cual todos los sistemas serán protegidos, por seguridad de los usuarios y para un funcionamiento eficiente de la máquina.





*Imagen 58. Cubierta caja trituradora.*

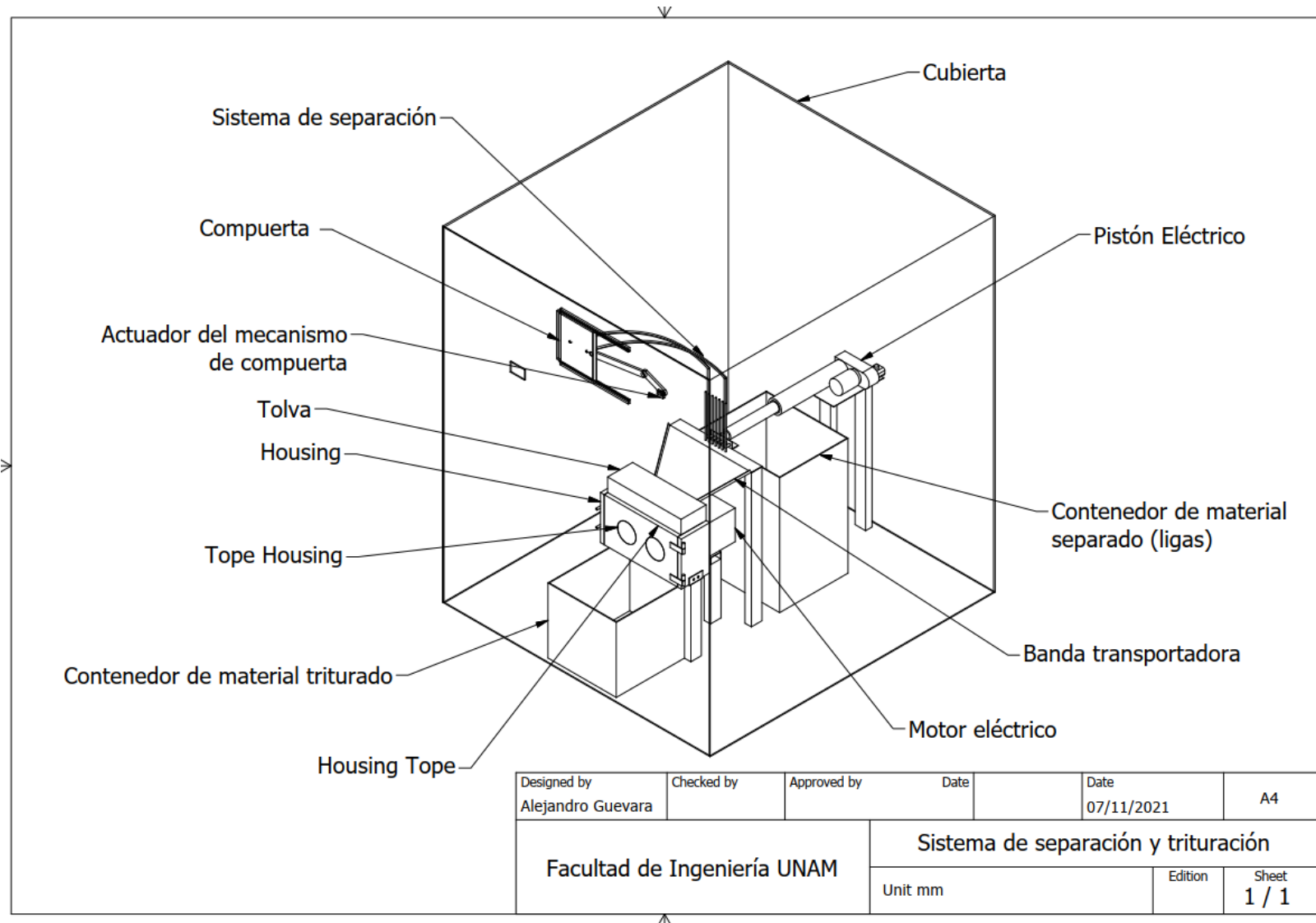


Imagen 59. Diseño final del sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95.

## V. Costo de materiales y manufactura

A continuación, en la tabla 13 se muestra el costo de los materiales que se requieren para manufacturar el diseño real del sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95.

| <b>Material/Componente</b>   | <b>Cantidad</b>               | <b>Costo (pesos)</b> |
|--|-------------------------------|----------------------|
| <b>Lámina de acero 1015 calibre 16</b>                             | 1 lámina de 1.22x1 [m]        | \$3,000              |
| <b>Lámina de acero galvanizado calibre 20</b>                      | 6 láminas de 1.22x2.44<br>[m] | \$11,663             |
| <b>Placa de acero 1015 7/8 [in]</b>                                | 1 placa de 3x6 [ft]           | \$2,714              |
| <b>Barra hexagonal de 2 [in] de acero 1018<br/>rolada en frío</b>  | 1 barra 60 [cm]               | \$1,487              |
| <b>Barra redonda de 2.25 [in] de acero<br/>1015 rolada en frío</b> | 1 barra de 60 [cm]            | \$2,500              |
| <b>Tornillos prisioneros M5-0.8x10</b>                             | 1 paquete de 100 piezas       | \$132                |
| <b>Rodamientos de carga radial</b>                                 | 4 piezas                      | \$25,000             |
| <b>Perfil tubular rectangular 2.5x1.5 [in] de<br/>acero 1015</b>   | 1 barra de 6 [m]              | \$1,000              |
| <b>Solera 0.25x2.5 [in]</b>  | 1 pieza de 3 [m]              | \$350                |
| <b>Ángulo 1.5x1.5 [in] de acero A36</b>                            | 1 pieza 1.5 [m]               | 1,128                |
| <b>Motor eléctrico monofásico ½ [hp]</b>                           | 1 pieza                       | \$1,820.00           |
| <b>Bisagras 5/8 [in]</b>   | 2 piezas                      | \$110                |

|   |                   |          |
|---|-------------------|----------|
| <b>Varilla lisa redonda 0.25 [in] de acero inoxidable</b> | 4 barras de 1 [m] | \$600    |
| <b>TOTAL</b>  |                   | \$51,504 |

*Tabla 13. Costo de materiales para la manufactura del sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95.*

En la tabla 14 se muestra el costo de la mano obra que se requiere para conformar las piezas finales. Los costos se obtuvieron con base en cotizaciones realizadas durante la manufactura del prototipo de la caja trituradora.

| <b>Proceso de manufactura</b>   | <b>Costo (pesos)</b> |
|---|----------------------|
| <b>Corte por chorro de agua para manufactura de 16 cuchillas</b>                        | \$1,600              |
| <b>Fresadora para barrenar ejes, caja trituradora, conformar engranes y acopladores</b> | \$8,000              |
| <b>Soldadora para caja trituradora y soportes</b>                                       | \$1,500              |
| <b>TOTAL</b>  | \$11,100             |

*Tabla 14. Costo de mano de obra por proceso de manufactura.*

Finalmente, se puede obtener que el costo final de manufacturar el sistema de separación y trituración de cubrebocas KN95 es de \$62,604 pesos.

## **VI. Conclusión**

Al finalizar el presente trabajo fue posible identificar la oportunidad de aplicar múltiples herramientas de la ingeniería de diseño, los procesos de manufactura, el análisis de propiedades mecánicas de materiales y gran parte de la teoría de diseño del producto. Como punto de partida, identifiqué una necesidad derivada de los desechos de materiales como mascarillas que se han utilizado durante la emergencia sanitaria que enfrentamos mundialmente, y que permite generar un producto. Este desarrollo partió desde el análisis de un concepto hasta el diseño de una serie de sistemas mecánicos.

Del mismo modo, esta investigación permitió comprender la estrecha relación entre el proceso de diseño y la manufactura. Las decisiones que se toman dentro de estas áreas afectan directamente el costo del producto, por lo cual, es imprescindible analizar cuantitativamente (a través de cálculos matemáticos) y justificar (con base en experiencia y parámetros de diseño) los componentes empleados. Ello asegura el éxito en diseño, elaboración y acoplamiento de los sistemas de un producto, gracias a una mejor coordinación y planeación del proyecto.

A pesar de realizar cálculos matemáticos para la toma de decisiones en el diseño, no es sinónimo de que funcione como se tiene previsto, pues hay variables que no se pueden controlar por completo; un ejemplo de ello fue que, durante el desarrollo del sistema de separación de ligas, en un principio mediante el empleo de dos canales, se entendía que la mascarilla, al deslizarse por éstos, las ligas quedarían atrapadas por el centro mediante un sistema de varillaje; no obstante, debido a que las ligas poseen muy poco peso, éstas no caían como se esperaba para que fueran captadas por las varillas, lo que resultaba en un porcentaje de error de exactitud que no era aceptable.

Esta experiencia lleva a la etapa de la implementación de herramientas especializadas, como matrices de decisión, que fueron de ayuda para la evaluación de propuestas de solución, posibles combinaciones y compatibilidad entre subsistemas.

Por último, el objetivo del presente trabajo se cumple ya que, la correlación de conceptos, no sólo teóricos, sino también prácticos, condujeron de forma eficiente al funcionamiento óptimo de la propuesta de diseño para los sistemas de separación y trituración de cubrebocas KN95.

## Bibliografía

- Fibras sintéticas y artificiales (2013). Recuperado el 1 de julio de 2021, de: <http://thepoliestiren.blogspot.com/2013/02/el-poliester-y-todas-sus-caracteristicas.html>.
- Gladys Cecilia Celestecielo (2012). ¿Qué es la fibra Rayón? Recuperado el 1 de julio de 2021, de: <https://elrincondECElestecielo.blogspot.com/2015/07/que-es-la-fibra-rayon.html> (2012).
- Taya Ibadango Cynthia Pamela (2019). Fibra de algodón. Recuperado el 1 de julio de 2021, de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/631/1/capitulo1.pdf>
- Guangzhou Junqian Nonwoven CO., LTD y Foshan (s/f). “Fabricantes de telas no tejidas de Guangdong, proveedor de productos no tejidos de China”. Recuperado el 2 de julio de 2021, de: <https://www.nonwovenproductsupplier.com/es/news/What-is-the-material-ES-hot-air-cotton-used-for-making-KN95-masks.html>
- Testex Instrument LTD (2020). “KN95 Mask Material Knowledge: ES Hot Air Cotton”. Recuperado el 2 de julio de 2021, de: <https://www.testextextile.com/kn95-mask-material-knowledge-es-hot-air-cotton/>.
- The editors of Encyclopaedia Britannica, *Polypropylene chemical compound*. Recuperado el 5 de julio de 2021, de: <https://www.britannica.com/science/polypropylene>.
- Sichuan Juneng Filter Material Co. Ltd, “Advantages of using SMS non-woven fabric for industrial wipes”. Recuperado el 5 de julio de 2021, de: <http://www.cnjnkj.com/news/Advantages-of-using-SMS-non-woven-fabric-for-industrial-wipes-37.html>.

- Tongxiang Small Boss Special Plastic Products Co. Ltd, Meltblown (s/f). Recuperado el 5 de julio de 2021, de: <http://www.txmeltblown.com/product/28.html>.
- Shandong Beishangguang International Trade Co. Ltd (s/f). “Non woven fabric”. Recuperado el 6 de julio de 2021, de: [https://www.bsgppe.com/h-pd-2.html?gclid=Cj0KCQjw0K-HBhDDARIsAFJ6UGgeV8jsyF82Vy2Pwpm\\_v-z\\_2QKeZjiFFLwEovElEaBnqSeVSY9rv1saAlzTEALw\\_wcB#\\_pp=103\\_529](https://www.bsgppe.com/h-pd-2.html?gclid=Cj0KCQjw0K-HBhDDARIsAFJ6UGgeV8jsyF82Vy2Pwpm_v-z_2QKeZjiFFLwEovElEaBnqSeVSY9rv1saAlzTEALw_wcB#_pp=103_529).
- Tanvir Hossain (2020). “Types of nonwoven fabric, manufacturing processes and applications”. Recuperado el 6 de julio de 2021, de: <https://www.textiletoday.com.bd/types-non-woven-fabrics-manufacturing-processes-applications/>.
- The editors of Encyclopaedia Britannica (s/f). “Ethylene-propylene copolymer chemical compound”. Recuperado el 6 de julio de 2021, de: <https://www.britannica.com/science/ethylene-propylene-copolymer>.
- Tecnología de plásticos (2012). Recuperado el 7 de julio de 2021, de: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/07/polietileno-pe.html>.
- Cerrada García, Luisa (1995). “Propiedades mecánicas, comportamiento viscoelástico y anisotropía de copolímeros de alcohol vinílico y etileno”. Recuperado el 7 de julio de 2021, de: <https://core.ac.uk/download/pdf/19706437.pdf>.
- Navarro Arhuata, Julio Hernán (s/f). “Propiedades mecánicas”. Recuperado el 7 de julio de 2021, de: [https://www.todomecanica.com/recursos/estudio\\_materiales\\_carroceria.pdf](https://www.todomecanica.com/recursos/estudio_materiales_carroceria.pdf).
- Ensinger plastics (s/f). “Soluciones plásticas”. Recuperado el 8 de julio de 2021, de: <https://www.ensingerplastics.com/es-es/semielaborados/plastico/tecapet-tf-grey>.



- Sonelastic, Polímeros (s/f). Recuperado el 8 de julio de 2021, de:  
<https://www.sonelastic.com/es/fundamentos/tablas-propiedades-materiales/polimeros.html>.
- Delmetal (s/f). “Aluminio 6063”. Recuperado el 9 de julio de 2021, de:  
<https://delmetal.com.ar/productos/aluminio/6063.pdf>.
- Goodfellow (s/f). “Aluminio”. Recuperado el 9 de julio de 2021, de:  
<http://www.goodfellow.com/S/Aluminio.html>.
- Ramírez, Nilson (2011). “Trituración”. Recuperado el 12 de julio de 2021, de:  
<http://proindustriales.blogspot.com/2013/05/trituracion.html#:~:text=La%20trituraci%C3%B3n%20es%20el%20nombre,un%20mortero%20con%20un%20mazo.>
- Medina García, José Emmanuel (2011). “Diseño de una trituradora para plástico polietileno de tereftalato”. Recuperado el 12 de julio de 2021, de:  
[http://www.redisa.net/doc/artSim2011/TecnologiasParaElManejoDeResiduosSolidos/Dise%C3%B1o%20de%20una%20trituradora%20para%20pl%C3%A1stico%20Polietileno%20de%20Tereftalato%20\(PET\).pdf](http://www.redisa.net/doc/artSim2011/TecnologiasParaElManejoDeResiduosSolidos/Dise%C3%B1o%20de%20una%20trituradora%20para%20pl%C3%A1stico%20Polietileno%20de%20Tereftalato%20(PET).pdf)
- Andrea Blanco, Emilio (s/f). “Capítulo 7. Trituración”. Recuperado el 13 de julio de 2021, de: [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/7.\\_trituracion.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/7._trituracion.pdf).
- Ramos Peña, Fernando Santiago (2015). *Diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con una capacidad de 6.5 quintales por hora*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 13 de julio de 2021, de:  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10287/3/CD-6137.pdf>.

- Studylib.es (s/f). “Capítulo 9. reducción de molinos”. Recuperado el 14 de julio de 2021, de: <https://studylib.es/doc/4768121/cap%C3%ADtulo-9.-reducci%C3%B3n-de-tama%C3%B1o.-molinos-9.1.-introducci%C3%B3n>.
- “Propiedades físicas y mecánicas de los materiales”. Recuperado el 14 de julio de 2021, de: [https://portal.camins.upc.edu/materials\\_guia/250109/2011/Propiedades%20f%C3%ADsicas%20y%20mec%C3%A1nicas%20de%20los%20materiales%20-%20Parte%20II%20EC%202011-2012.pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250109/2011/Propiedades%20f%C3%ADsicas%20y%20mec%C3%A1nicas%20de%20los%20materiales%20-%20Parte%20II%20EC%202011-2012.pdf).
- Enciclopedia concepto (s/f). “Tenacidad”. Recuperado el 14 de julio de 2021, de: <https://concepto.de/tenacidad/#ixzz70R8PJhqH>.
- Tecnología de plásticos (2012). Recuperado el 15 de julio de 2021, de: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/10/elastano-spandex.html>.
- “Definición sistema de poliuretano”. Recuperado el 15 de julio de 2021, de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3904/34017-14.pdf?sequence=14&isAllowed=y#:~:text=Definiciones-.Sistema%20de%20poliuretano%3A%20Conjunto%20de%20dos%20componentes%20%C3%ADquidos%2C%20poliol%20e,agentes%20estabilizadores%20de%20la%20espuma>.
- J., Carrion Fite (s/f). *Poliester*, Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado el 15 de julio de 2021, de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/191549/poliester-5467.pdf>.
- “Capítulo 2 Isocianato”. Recuperado el 15 de julio de 2021, de: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2383/Cap%C3%ADtulo\\_2.pdf?sequence=17&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2383/Cap%C3%ADtulo_2.pdf?sequence=17&isAllowed=y).

- Ganon distribuidora de habilitaciones S.A.P.I. de C.V. (s/f). “Cordón elástico”. Recuperado el 11 de agosto de 2021, de: <https://tienda.ganon.com/Cordn-eltico-para-cubre bocas#:~:text=Cord%C3%B3n%20el%C3%A1stico%20para%20cubre bocas%2C%20material,grosor%20del%20cord%C3%B3n%203%20mm>.
- Hernández Moyano, José Luis; Fonseca La Rotta, Diego (2017). *Diseño de una trituradora de residuos sólidos tipo PET para la fundación Alianza Forestal de Colombia E.S.P.* Colombia: Escuela de Ingeniería Electromecánica Duitama. Recuperado el 11 de agosto de 2021, de: [https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2640/1/TGT\\_1254.pdf](https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/2640/1/TGT_1254.pdf).
- Grupo Tecnología Mecánica (s/f). “Materiales para herramientas de corte”. Recuperado el 12 de agosto de 2021, de: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/16.pdf>.
- Ortiz Ortega, Edgar José; Tirado Abril, Ronald Julián (2005). *Diseño y construcción de una trituradora de mandíbulas excéntricas elevada.* Colombia: Escuela de Ingeniería Mecánica Bucaramanga. Recuperado el 11 de agosto de 2021, de: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2005/116924.pdf>.
- Alacermas (s/f). “Aluminio 6063”. Recuperado el 12 de agosto de 2021, de: [https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa\\_6063\\_aluminio.pdf](https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_6063_aluminio.pdf).
- Ferrocortes (s/f). “SAE 4140”. Recuperado el 13 de agosto de 2021, de <https://www.ferrocortes.com.co/download/FT-02-001-AISI-SAE-4140.pdf>.
- Ferrepat (s/f). “Motor monofásico ½ hp”. Recuperado el 13 de agosto de 2021, de <https://www.ferrepat.com/detalles-landing/motor-monofasico-siemens-electromex-12-hp-115230v/13397>

- Colina Irezabal, Ma. Luisa (s/f). “Reducción de tamaños sólidos”. Recuperado el 19 de septiembre de 2021, de: [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red\\_tam\\_solidos\\_resumen\\_y\\_calculo.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_solidos_resumen_y_calculo.pdf).
- SteelMart (s/f). “Barra hexagonal cold rolled 1018 2´´”. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de: <https://www.steelmart.com.mx/site/?page=detail-product&product=0065P>.
- SKF (s/f). “NU1016 rodamientos de una hilera de rodillos cilíndricos”. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de: <https://www.skf.com/mx/products/rolling-bearings/roller-bearings/cylindrical-roller-bearings/single-row-cylindrical-roller-bearings/productid-NU%201016>.
- Tormental (s/f). “Rosca métrica”. Recuperado el 21 de septiembre de 2021, de: <https://tormetal.com/wp-content/uploads/2017/03/6-TMT-CAT-FIX-AP-Tecnico-Roscas.pdf>.
- Mercado Libre (s/f). “Slot 4040 Aluminio Estándar Europeo 60 cm”. Recuperado el 28 de octubre de 2021, de: <https://articulo.mercadolibre.com.mx>.
- Semarnat (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA-2002 Protección ambiental -Salud ambiental-residuos peligrosos biológico-infecciosos-Clasificación y especificaciones de manejo. Recuperado el 2 de marzo de 2022, de: <https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/Programas/VIH/Leyes%20y%20normas%20y%20reglamentos/Norma%20Oficial%20Mexicana/NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002%20Proteccion%20ambiental-salud.pdf>.

- Acosta-Gnass, Silvia I. (2008). *Manual de esterilización para centros de salud*, pp. 58-66. Recuperado el 1 de julio de 2021, de: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/797/9789275329269.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- S. A. Sattar., V. S. Springthorpe, Y. Karim y P. Loro (1989). “Chemical disinfection of non-porous inanimate surfaces experimentally contaminated with four human pathogenic viruses”. Canadá: Department of Microbiology and Immunology, Faculty of Health Sciences, University of Ottawa. Recuperado el 2 de julio de 2021, de: <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/C572ABC9B10E3CFD95E604BF7E7275EB/S0950268800030211a.pdf/chemical-disinfection-of-non-porous-inanimate-surfaces-experimentally-contaminated-with-four-human-pathogenic-viruses.pdf>.