



TFG

Diseño accesible para la reducción del polvo de sílice: una propuesta para mejorar la salud laboral en los talleres de pulido de piedras preciosas en la ciudad de Artigas, Uruguay.

**María Texeira
Belén Palermo**

2025

Escuela Universitaria Centro de Diseño
Fadu Universidad de la República – Udelar

Montevideo – Uruguay
Marzo, 2025

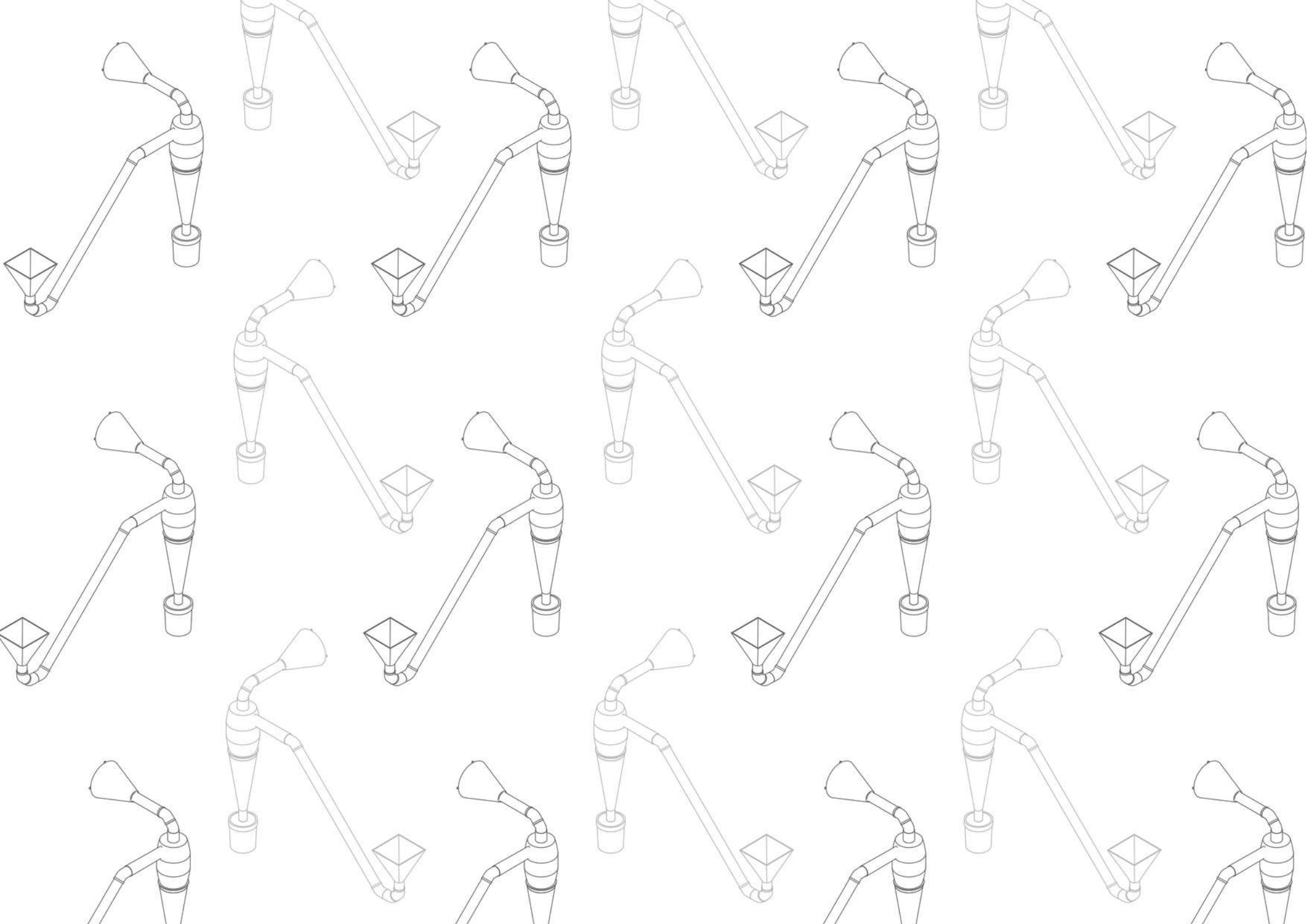
Trabajo final de grado
Licenciatura en Diseño industrial – Perfil producto

Diseño accesible para la reducción del polvo de sílice: una propuesta para mejorar la salud laboral en los talleres de pulido de piedras preciosas en la ciudad de Artigas, Uruguay.

Autoras:
María Texeira
Belén Palermo

Tutor:
Pedro Santoro





AGRADECIMIENTOS

Cada página de esta tesis refleja el esfuerzo y la dedicación durante esta carrera. Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a todas las personas que nos apoyaron en este camino.

A Pedro, nuestro tutor, por su constante acompañamiento a lo largo de todo el proceso y por brindarnos la confianza en nuestras capacidades incluso en los momentos en que sentíamos que no podíamos avanzar.

A las personas que integran la empresa Le Stage en Artigas, en especial a Carlos y Nazareth, por su constante disposición para brindarnos información y acompañamiento durante cada una de nuestras visitas al departamento.

A los trabajadores de los talleres de toda la ciudad, quienes siempre nos recibieron con amabilidad y dispuestos a colaborar.

A Naty, nuestra amiga y colega, con quien recorrimos juntas este camino, celebrando cada triunfo y encontrando aliento en cada desacierto.

MARÍA

Finalizar este trabajo representa el cierre de una etapa llena de aprendizajes, además de crecimiento personal y profesional.

Quiero agradecer a mi familia por su apoyo, paciencia y aliento en cada paso de este trayecto.

A mis amigas, por compartir conmigo momentos buenos y no tan buenos en estos años viviendo en la capital.

A Bel, por acompañarme durante la carrera, convirtiéndose en una gran amiga que me dejó este camino.

BELÉN

Gracias a mi familia, los pilares en mi vida.

A mis amigas, por estar presentes en todo momento desde el comienzo de esta etapa.

A mi pareja, por estar en todo el proceso con su apoyo constante.

A Mari y a su familia por hacerme sentir como en casa en las estadías en Artigas. No solo fue una gran compañera, sino me llevo una gran amiga y colega.

RESUMEN

Este trabajo de grado aborda la problemática de la seguridad laboral en talleres dedicados al procesamiento de piedras preciosas en Artigas, Uruguay. A través de un enfoque cualitativo, se analizan las prácticas laborales y las condiciones de los trabajadores, con especial énfasis en la exposición al polvo de sílice, generado durante el pulido de estas.

La investigación se centra en el diseño y desarrollo de un sistema de extracción localizada para mitigar los riesgos asociados a este contaminante, priorizando la accesibilidad económica y la facilidad técnica para contextos de recursos limitados.

El proyecto incluye un análisis del polvo de sílice, las condiciones laborales, y las normativas vigentes en salud ocupacional. Asimismo, se evalúan diferentes tecnologías de recolección de polvo, destacando el uso de ciclones de alta eficiencia por su bajo costo, simplicidad de mantenimiento y capacidad para reducir la exposición a partículas finas.

La propuesta final consiste en un sistema de extracción que emplea materiales accesibles en el mercado local. Este dispositivo combina funcionalidad en la captura de partículas con facilidad de implementación, contribuyendo tanto a la protección de la salud de los trabajadores como a la mejora de las condiciones ambientales en los talleres.



ÍNDICE

Agradecimientos	4
Resumen	5
Introducción	12
Motivación	14
Capítulo 1	
Marco conceptual de la investigación	16
Planteamiento del problema	17
Justificación	18
Preguntas de investigación	18
Hipótesis	19
Objetivos	19
Capítulo 2	
Metodología y marco teórico: fundamentos del estudio	21
Esquema proceso metodológico	22
Marco teórico	24
Relevamiento de antecedentes	25
Historia de la localidad	27
Descripción del proceso industrial	28
Proceso industrial	29
Esquema proceso industrial	30
Importancia económica y cultural de esta actividad en la región	31
Relevancia del pulido en la preparación y comercialización de las piedras	32
Características del polvo de sílice	32
Desafíos y limitaciones en la implementación de estas normativas en la región	35
Medidas técnicas para el control de polvo de sílice en el lugar de trabajo	36
Equipos de protección personal	36
Prácticas de trabajo seguras y capacitación de los trabajadores	37



ÍNDICE

Capítulo 3

Relevamiento de la situación	39
Categorización de las empresas	41
Descripción de talleres	43

Capítulo 4

Sistemas de extracción de polvo	48
Definición y características del extractor de polvo	49
Relevancia del uso de extractores de polvo en la industria de piedras	49
Fuentes contaminantes	50
Tipos de colectores de polvo	50
Búsqueda de máquinas existentes	50
Conclusiones de la búsqueda	51
Clasificación de extractores	51
Conclusiones de la clasificación	51
Primeras propuestas	52
Boceto 1	53
Boceto 2	54
Conclusión Boceto 1 y 2	55
Conclusión de bocetos y comentarios	55
Análisis de la propuesta	56
Componentes de un sistema de extracción localizada de polvo	57
Funcionamiento de un sistema de extracción localizada	58
Fases del funcionamiento	58
Diagrama de funcionamiento	58
Partes y funcionamiento de un ciclón	59
Análisis de las partículas a remover	62
Características de las partículas de sílice	62



ÍNDICE

Tipo de separadores ciclónicos	63
Ciclones como pre-limpiadores en la captura de partículas	64
Conclusiones del capítulo	65

Capítulo 5

Análisis de resultados	67
Caso de estudio	68
Propuesta final	69
Receptáculo	69
Sistema de conducción de aire	70
Ciclón separador de partículas	71
Datos relevantes para el diseño del ciclón	71
Fabricación del ciclón	74
Ventilador	75
Estructura de soporte del ciclón	75
Ergonomía	78
Pruebas con prototipo	79
Primera prueba	80
Segunda prueba	82
Evaluación del sistema	84
Conclusiones finales	85
Futuras investigaciones	86
Referencias bibliográficas	87
Anexos	91



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorización de las empresas	42
Tabla 2. Actividades realizadas en lugares visitados	43
Tabla 3. Fuentes contaminantes	51
Tabla 4. Intervalos de eficiencia de remoción para familias de ciclones de alta eficiencia	64
Tabla 5. Parámetros establecidos para el diseño de un ciclón	72



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la localidad	28
Figura 2. Esquema del proceso industrial	31
Figura 3. Exportación de ágatas y amatistas	32
Figura 4. Empresaria china tomando videos de las amatistas de Artigas	33
Figura 5. Contaminación del aire	34
Figura 6. Ilustración de tamaño de las partículas	35
Figura 7. Tamaño de las partículas	35
Figura 8. Visita a talleres	44
Figura 9. Máquina utilizada en los talleres	44
Figura 10. Puesto de trabajo en taller doméstico	45
Figura 11. Métodos utilizados para reducir el polvo	46
Figura 12. Instalación de extractor para control de polvo	46
Figura 13. Polvo suspendido en el ambiente	47
Figura 14. Acumulación de polvo en los talleres	47
Figura 15. Boceto 1 - Cabina	54
Figura 16. Boceto 2 - Tubo cilíndrico	55
Figura 17. Diagrama de funcionamiento de un sistema de extracción	59
Figura 18. Partes de un ciclón	60
Figura 19. Principio de operación de un ciclón	61
Figura 20. Mecanismos de colección de partículas en un ciclón	61
Figura 21. Vórtices en el ciclón	61
Figura 22. Intervalos de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones	64
Figura 23. Diagrama del caso de estudio	69
Figura 24. Receptáculo, componente del dispositivo	70



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 25. Diagrama de las dimensiones de un ciclón	73
Figura 26. Esquema ciclón a diseñar	74
Figura 27. Estructura utilizada en ciclones	76
Figura 28. Diseño estructural de ciclones	76
Figura 29. Polvo recolectado sin el sistema	85
Figura 30. Polvo recolectado con el sistema	85



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado se centra en la mitigación de los riesgos para la salud de los trabajadores involucrados en el proceso de pulido de ágatas y amatistas en talleres ubicados en la ciudad de Artigas, Uruguay.

La minería en Uruguay ha sido una actividad de gran relevancia desde el siglo XVIII, destacándose por la extracción de ágatas y amatistas en la zona de los Catalanes, Artigas. Este sector, ubicado en el norte del país, se ha desarrollado como un centro crucial para la exploración y extracción de piedras semipreciosas, apreciadas mundialmente por su calidad y belleza. Las piedras de Artigas, tanto las extraídas subterráneamente como a cielo abierto, se han exportado a mercados internacionales como Brasil, Estados Unidos y China, subrayando su importancia económica y cultural.

El proceso industrial de las piedras incluye una serie de pasos que abarcan desde su extracción, clasificación y tratamiento hasta su exportación. Dentro de cada uno de estos pasos se llevan a cabo diversos procedimientos.

En el proceso de pulido de las piedras, el polvo generado puede causar enfermedades respiratorias graves afectando la salud de los trabajadores.

Es por esto que el trabajo se desarrolla en la línea de investigación de salud ocupacional y seguridad durante esta parte del proceso, contribuyendo al desarrollo de prácticas laborales más seguras para el momento del pulido.

La estructura del trabajo se organiza en capítulos que abordan desde el contexto histórico y económico de la minería en Uruguay hasta las soluciones tecnológicas propuestas.

MOTIVACIÓN

La elección del tema surge de la experiencia personal de una de las autoras de este trabajo, originaria de Artigas, quien ha sido testigo de las prácticas de extracción y procesamiento de ágatas y amatistas en su comunidad.

En la búsqueda del tema, estas actividades han despertado su interés y curiosidad, y al comentárselo a su compañera, generaron entre ambas el entusiasmo por aportar en la industria de las piedra preciosas, mejorando las condiciones laborales de los talleres de microemprendedores.

Durante la inmersión de las autoras a la temática, se desarrollaron entrevistas y visitas, donde se observaron varios puntos a investigar y/o trabajar. Pero sin dudas, el que se detectó para ocuparse con emergencia, fue el de la salud laboral de los trabajadores que pulen las piedras.

Fue así que este trabajo de grado se centró en la investigación de los riesgos asociados con la exposición al polvo de sílice y a proponer medidas apropiadas para proteger la salud de los trabajadores en la comunidad.





CAPITULO 1

MARCO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se establecen los fundamentos teóricos y conceptuales que guían la investigación. Se comienza con la exposición de la problemática central, la cual justifica la necesidad de abordar este estudio y delimitar su importancia en el contexto.

A partir de esto, se presentan las preguntas de investigación que orientan el análisis, así como las hipótesis que buscan ser probadas, o no, a lo largo del trabajo.

A su vez, se definen los objetivos generales y específicos que permitirán estructurar el estudio y alcanzar una comprensión integral de la investigación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para definir el problema de investigación, se realizó un análisis de la industria de las piedras preciosas en la región de Artigas, Uruguay.

Este se centra en el proceso de pulido, una etapa esencial para su preparación y posterior comercialización, que genera polvo de sílice, lo cual plantea riesgos significativos para la salud de los trabajadores.

“El óxido de silicio o dióxido de silicio, comúnmente llamado sílice, es un compuesto de silicio y oxígeno. Estos elementos son los más abundantes de la corteza terrestre. Su fórmula química es SiO_2 . Se trata de un componente básico de la Tierra” (Gobierno de España et al., s. f., p. 9)

La inhalación de este polvo por tiempos prolongados conllevan riesgos significativos para la salud respiratoria, pudiendo desarrollar neumoconiosis, dentro de estas se encuentra la silicosis, cáncer de pulmón y otras tipologías graves.

“La exposición a ambientes con excesiva concentración de partículas inorgánicas ha dado lugar a las enfermedades pulmonares denominadas neumoconiosis. Las neumoconiosis engloban un grupo muy amplio de enfermedades pulmonares causadas por la inhalación de polvo inorgánico en concentraciones altas y muchas veces de origen ocupacional” (Enfermedades Pulmonares Intersticiales Difusas, s. f., p. 75)

Tanto en grandes empresas como en pequeños talleres locales, esta problemática se agrava debido a la falta de conciencia y medidas efectivas para abordar el impacto cada vez mayor de la silicosis. La falta de implementación de medidas de control y la insuficiente concentración sobre la protección de la salud de los trabajadores son desafíos que deben ser enfrentados de manera urgente.

JUSTIFICACIÓN

La industria de piedras preciosas es un pilar económico crucial tanto a nivel regional como nacional y también tiene un gran impacto cultural y social. Las ágatas y amatistas extraídas en esta región son reconocidas mundialmente por su calidad.

A pesar de que se reconoce el riesgo de la exposición de polvo al pulirlas, la implementación de medidas efectivas para reducirlo es insuficiente en muchos talleres de Artigas.

Esta investigación busca desarrollar y promover estrategias de diseño que reduzcan esta exposición al polvo, mejorando las condiciones de trabajo y la salud de los trabajadores.

Al implementar métodos y tecnologías de diseño, se puede crear un ambiente laboral más seguro, minimizando riesgos y mejorando la calidad de vida de quienes participan en esta industria.

Además, la mejora de las condiciones laborales puede potenciar la productividad y la calidad del producto final, lo que beneficia tanto a los trabajadores como a la industria en general.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Luego de identificar la problemática, surgen las preguntas de investigación que orientan este estudio. Estas son fundamentales para enfocar el trabajo y abordar los puntos relacionados.

- ¿Qué tecnologías se utilizan actualmente para la reducción del polvo de sílice en distintos sectores industriales?
- ¿Cuáles son las necesidades y limitaciones específicas de los talleres domésticos en Artigas respecto a la reducción del polvo de sílice?
- ¿Qué características de las máquinas industriales pueden ser modificadas o simplificadas para adaptarse a los talleres domésticos de Artigas de forma económica?

HIPÓTESIS

En el marco de esta investigación, se plantean una serie de **hipótesis** que constituyen el punto de partida para el desarrollo del estudio:

- Los sistemas de ventilación con aspiración localizada son comunes en el sector metalúrgico y de fabricación, ya que permiten la captura de partículas directamente en el punto de generación, minimizando la dispersión del polvo en el entorno de trabajo.
- Debido a la falta de recursos económicos y el espacio físico reducido de los talleres domésticos, dependen de soluciones más económicas y apropiadas para la reducción del polvo.
- La simplificación de las características de las máquinas, junto con el uso de materiales alternativos más económicos, permitirá reducir los costos de fabricación haciéndolas más accesibles para los talleres domésticos.

OBJETIVOS

GENERAL

- Investigar las máquinas industriales existentes a nivel mundial para la reducción del polvo de sílice y adaptar sus características de manera económica al contexto local de los talleres domésticos de Artigas, para así mejorar la seguridad laboral y la productividad de los trabajadores.

ESPECÍFICOS

- Diseñar un prototipo de máquina para que los trabajadores de los pequeños talleres puedan construirlo con un manual sencillo, adaptando las características más relevantes de las tecnologías existentes.
- Realizar un análisis detallado de las necesidades específicas y limitaciones de los talleres domésticos en Artigas, para asegurar que las soluciones propuestas sean apropiadas y accesibles.



EXPLOTACIÓN MINERA
USO DE 
EXPLOSIVOS
PRECAUCIÓN

CAPITULO 2

METODOLOGÍA Y MARCO TEÓRICO: FUNDAMENTOS DEL ESTUDIO

En este capítulo se desarrolla la metodología de investigación que se utiliza para llevar a cabo el proyecto. A su vez, se presenta el marco teórico con definiciones claves que son esenciales para comprender el contexto y los conceptos fundamentales del estudio. Estas definiciones proporcionarán una base clara y precisa sobre términos técnicos y conceptos relevantes, permitiendo una mejor comprensión de los temas tratados en el presente trabajo.

El trabajo es llevado a cabo a través de una metodología de investigación cualitativa, la cual permite obtener datos descriptivos, a partir de observaciones en territorio y las palabras de los propios empresarios y trabajadores.

“Comienza con la recogida de datos, mediante la observación empírica o mediciones de alguna clase, y a continuación construye, a partir de las relaciones descubiertas, sus categorías y proposiciones teóricas. Pretenden descubrir una teoría que justifique los datos. Mediante el estudio de los fenómenos semejantes y diferentes analizados, desarrolla una teoría explicativa.” (Goetz y LeCompte, 1988, como se cito en Rosario Quecedo y Carlos Castaño, 2002)

METODOLOGÍA: INVESTIGACIÓN CUALITATIVA

ESQUEMA

PROCESO METODOLÓGICO

1

Definición del problema

Identificación de los riesgos de salud ocupacional en la industria de ágatas y amatistas en la ciudad de Artigas, Uruguay.

2

Revisión bibliográfica

Análisis de bibliografía relacionada, normativas de seguridad nacional e internacional y aspectos relacionados con la exposición al polvo de sílice.

3

Trabajo de campo y observación directa

Visitas a canteras, empresas y talleres, documentación del proceso productivo y las prácticas de seguridad en el proceso de pulido.

4

Entrevistas semi-estructuradas

Realización de entrevistas a trabajadores y responsables de empresas para recoger información sobre su experiencia sobre el tema.

5

Análisis de datos cualitativos

Categorización de la información obtenida en campo y entrevistas, identificando datos que aporten al proyecto.

6

Resolución final y conclusiones

Conclusiones basadas en el análisis, con propuestas para mejorar las condiciones laborales y reducir la exposición al polvo.

La metodología propuesta sigue un enfoque cualitativo que permite un análisis integral de los riesgos en el proceso de pulido de ágatas y amatistas. A partir de la definición del problema y la revisión bibliográfica, se establece una base teórica sólida que guía la observación directa en campo y la recolección de datos a través de entrevistas. Este enfoque garantiza la identificación de los riesgos desde una perspectiva local y contextualizada.

Se entiende que la credibilidad de los resultados puede incrementarse y/o calibrarse mediante estrategias desarrolladas en las fases de diseño, recogida de datos, análisis o redacción del informe. Angulo Rasco las agrupa en tres bloques:

- **Presencia prolongada en el campo y la observación persistente.**
- **Triangulación:** Se refiere a la combinación en un estudio único de distintas fuentes de datos. En general, se combinan datos obtenidos de la observación, entrevistas y documentos escritos. Es un modo de protegerse de las tendencias del investigador y de confrontar y someter a control recíproco las declaraciones de los distintos participantes.
- **Corroboración estructural y adecuación referencial:** Implica la comprobación y comparación de los datos obtenidos, así como de las interpretaciones que se van desglosando. En este proceso es tan importante explicar y asegurar la no existencia de contradicciones infundadas entre los datos, como explicar y dar razones de las informaciones conflictivas.

(Angulo Rasco, 1990, como se cito en Rosario Quecedo y Carlos Castaño, 2003)

En este sentido, las estudiantes desde el comienzo del proyecto hasta la actualidad mantienen una conexión directa con el campo, manteniendo una conducta observable y constante.

Estos datos observados se conjugan con las entrevistas individuales y grupales obtenidas y documentos escritos para aplicar la teoría en la investigación cualitativa, explicando y segregando las distintas opiniones y diferencias de estos datos.

El análisis cualitativo proporciona una comprensión detallada de las condiciones laborales y la exposición al polvo, permitiendo elaborar recomendaciones prácticas para mejorar la seguridad y el bienestar de los trabajadores en esta industria.

MARCO TEÓRICO

En el marco teórico de este trabajo de grado se detallarán los antecedentes encontrados sobre la problemática abordada.

Además se va a centrar en proporcionar una comprensión detallada de los riesgos para la salud asociados con el tema estudiado.

Se revisará la literatura existente sobre la exposición al polvo de sílice y sus efectos en la salud de los trabajadores. Además, se explorarán las normativas y regulaciones relevantes.

RELEVAMIENTO DE ANTECEDENTES

Para el abordaje del presente proyecto, se considera como soporte y antecedente a la tesis: “Eficacia de la Implementación de un Extractor para la Reducción de la Exposición a Polvo Respirable en la Actividad de Corte de Concreto en una Empresa del Sector de Construcción Civil–Arequipa” por Diana Flores para optar el Título Profesional de Ingeniero de seguridad industrial y minera. Llevada a cabo en la Universidad Tecnológica del Perú, en el año 2023.

Flores (2023) expresa cuatro grandes conclusiones:

“Tras la primera evaluación de polvo respirable durante la actividad de corte de concreto, se obtuvo un promedio de 290.366mg/m³ a partir de las 10 muestras recolectadas. Como resultado, se concluye que las concentraciones de polvo respirable exceden el valor límite permisible, que está establecido en 3 mg/m³ según la legislación vigente.

Esto demuestra que los trabajadores involucrados en la labor de corte de concreto están expuestos a riesgos relacionados con la inhalación de polvo respirable.”

- “Durante la actividad de corte de concreto, se implementó un extractor de polvo respirable (...)

Estos resultados confirman que la concentración de polvo respirable se encuentra por debajo del Límite Permissible establecido por las regulaciones del Estado peruano.”

- “Tras la segunda evaluación del polvo respirable durante la actividad de corte de concreto, (...) se concluye que los trabajadores involucrados en la tarea de corte de concreto ya no están expuestos a riesgos asociados con la inhalación de polvo respirable.”
- “Se puede concluir que el extractor de polvo respirable es eficaz en la reducción de la exposición a polvo respirable.”

Si bien este estudio fue realizado en Perú, proporciona información útil para la investigación que se realiza en la localidad de Artigas. Los resultados muestran que, inicialmente, las concentraciones de polvo respirable excedían significativamente los límites permisibles, lo que representaba un grave riesgo para la salud de los trabajadores debido a la inhalación de polvo. Sin embargo, la implementación de un extractor de polvo con especificaciones técnicas precisas y estudiadas resultó en una reducción de la concentración de polvo respirable, logrando estar por debajo de los límites establecidos por las normativas de salud ocupacional.

Se observa la importancia de aplicar tecnologías de control de polvo en actividades que generan grandes cantidades de partículas respirables. El resultado de la implementación del extractor en el estudio, logró una reducción del 99,94% en la concentración de polvo, se puede decir entonces que, la adopción de equipos similares en la industria de ágatas y amatistas podría ser una medida positiva para proteger la salud de los trabajadores en Artigas.

Abordando un antecedente nacional, se encontró un estudio en la industria del vidrio, realizado por el Instituto de Tisiología y Cátedra de Clínica Neumológica, donde se observa la presencia de silicosis en el 12% de los trabajadores de una fábrica. “Se estudiaron 112 trabajadores entre los que se encontraron diez con silicosis. Fueron todas formas simples: cuatro con presentación típica y seis con localización no habitual, sólo en campos medios e inferiores del pulmón.” (Estudio de Prevalencia de Silicosis En una Fábrica de Vidrios, 1989)

A su vez, en dicho estudio se establece que se encontró una asociación significativa con los años y la intensidad de la exposición al polvo.

Por otro lado, se investigó la presencia de silicosis en el rubro odontológico.

Se encontró un estudio nacional realizado en el Departamento de Salud Ocupacional en la Facultad de Medicina de la Universidad de la República, donde investigaron a trabajadores de laboratorios dentales y se comunicaron cuatro casos de silicosis pulmonar.

Esta investigación se ve arraigada al proyecto que se desarrolla sobre la silicosis en la industria de las piedras. Se menciona que parte de los casos realizaban el trabajo a domicilio sin los equipos de seguridad, esto se puede asociar a los talleres de pulido.

En tres de los casos el trabajo se realizaba en forma unipersonal, en general en el domicilio, sin medidas de higiene general ni de protección respiratoria adecuadas.” (Silicosis En Trabajadores de Laboratorios Dentales. Una Ocupación de Riesgo, 2010)

Proponen también que “en todos nuestros pacientes el tiempo de exposición laboral fue prolongado (12 a 37 años). Todos estaban sintomáticos al momento del diagnóstico (disnea clase funcional I en un paciente y II en los tres restantes). El inicio de los síntomas fue tardío en todos los pacientes (período de latencia prolongada como es habitual en esta entidad).” (Silicosis En Trabajadores de Laboratorios Dentales. Una Ocupación de Riesgo, 2010)

HISTORIA DE LA LOCALIDAD

“La minería comenzó en Uruguay en el siglo XVIII. La abundancia de materiales constructivos y calizas, y la existencia de cobre y oro eran apreciadas desde esa época. (...) En 1840 comenzó la -

extracción de ágatas y amatistas en la zona de los Catalanes, Artigas, hoy talladas y pulidas en el propio departamento y exportadas principalmente a Alemania, EE.UU., Brasil y China.” (Cernuschi, 2014)



Figura 1. Mapa de la localidad. Fuente: elaboración propia

Artigas se encuentra en el norte de Uruguay, con una superficie de 11.928 km². De acuerdo con el censo del 2011, cuenta con una población de 73.000 habitantes.

De acuerdo el Observatorio Territorio Uruguay, el 12,1% de estos, se encuentran debajo de la línea de pobreza según datos de la Encuesta Continua de Hogares de 2014, el promedio nacional es de 9,7%, Artigas se encuentra entre los seis departamentos con más personas pobres a nivel relativo.

Los indicadores del mercado laboral del departamento presentan una situación más desfavorable en relación al promedio nacional, menor nivel de actividad, menor empleo y mayor tasa de desempleo que indica que una de cada diez mujeres está en condición de desempleo.

A partir de esto y de conversaciones con trabajadores de los talleres, se puede decir que la explotación minera de ágatas y amatistas podría contribuir a la disminución del nivel de pobreza, ya que estos nos mencionaron que hay suficiente trabajo y que además, algunos lo realizan por fuera de su trabajo, generando un ingreso extra. Por este motivo, podría convertirse en una importante fuente de empleo, permitiendo una mejora significativa en la situación laboral y social del departamento.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INDUSTRIAL

El proceso comienza en las canteras, que se dividen en: a cielo abierto y túneles. Estas difieren en el tipo de trabajo realizado, ya que las explosiones y el tipo de geodas obtenidas varían entre ambas.

En las canteras a cielo abierto, las piedras son clasificadas para minimizar el desperdicio y garantizar su adecuado uso y transformación. Una vez extraídas, se agrupan en bolsones y se pesan. Luego, algunas piedras son trasladadas en camiones para su comercialización en bruto en diferentes países, y otras piedras van a galpones, donde se pesan y clasifican antes de enviarlas a talleres domésticos para el pulido, que son procesos tercerizados.

Una vez terminadas, regresan a la empresa para control de calidad. Si cumplen los estándares, siguen el proceso de comercialización; de lo contrario, se devuelven a los talleres para mejoras. Después, se limpian, se aplica vaselina para brillo y, en caso de rajaduras, pegamento.

El empaquetado y transporte cuidadoso son los últimos pasos antes de llegar a los mercados. Se distribuyen en cajones, se apilan en pallets y se transportan en montacargas hasta los camiones para su distribución final.

Las empresas también cuentan con áreas de exhibición, para compradores internacionales como China y Estados Unidos. Allí pueden observar y seleccionar las piedras que desean adquirir.

PROCESO INDUSTRIAL

A continuación un esquema preliminar desarrollado antes de la realización del estudio de campo, que detalla el proceso industrial de ágatas y amatistas. Se basa en una revisión teórica de las etapas comúnmente utilizadas, desde la extracción en las canteras hasta la comercialización final de las piedras preciosas.

El objetivo de este esquema es anticipar las fases críticas del proceso y preparar el relevamiento en el contexto, lo que permitirá validar y ajustar la comprensión inicial del proceso a las prácticas específicas observadas en la región de Artigas.

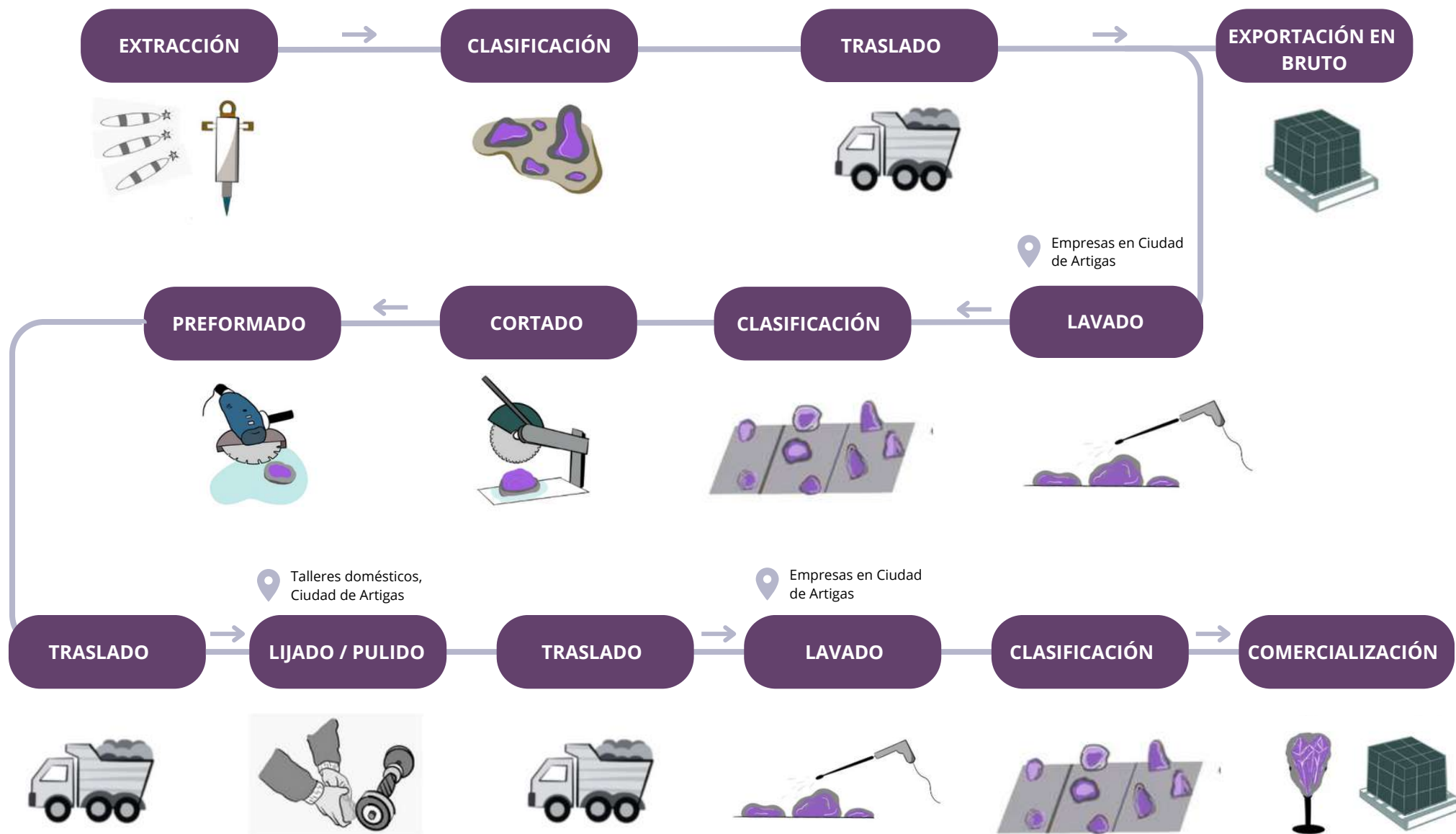


Figura 2. Esquema del proceso industrial. Fuente: Elaboración propia
Ver [anexo 7.0](#) del esquema con las imágenes del relevamiento en campo

IMPORTANCIA ECONÓMICA Y CULTURAL DE ESTA ACTIVIDAD EN LA REGIÓN

La extracción y procesamiento de ágatas y amatistas juega un papel significativo en la economía local. Esta actividad no solo es una fuente importante de empleo e ingresos para la ciudad, sino que también contribuye de manera significativa al comercio exterior del país.

“La importancia de esta riqueza mineral se manifiesta de dos formas diferentes. Por un lado y como es obvio, es la base de los emprendimientos mineros, que generan en forma directa e indirecta una importante demanda de empleo y servicios. Pero además estrechamente vinculado a la minería, esta riqueza mineral sustenta una importante actividad microempresarial, como son los talleres de transformación-lapidación de piedras preciosas.” (Dinamige - División Geología, 2007)

Estas piedras se exportan a varios países, lo que impulsa la economía del departamento. Muchos de los trabajadores de los talleres domésticos se dedican a esta actividad para generar ingresos adicionales.

La creciente demanda de inversionistas extranjeros ha impulsado la expansión del sector, mejorando la infraestructura en la minería y las empresas locales.

Esto ha fomentado el turismo, atrayendo a cientos de visitantes que realizan recorridos guiados por la zona de Los Catalanes, una de las principales atracciones turísticas. Durante estas visitas, los turistas aprenden sobre la historia y el presente de la minería en la región, una de las industrias más importantes del departamento. Además incluye visitas a las principales empresas de la ciudad.

También se organizan visitas escolares para educar a los estudiantes sobre las riquezas naturales y las oportunidades laborales que ofrece el departamento.

Exportaciones de ágatas y amatistas USD/Año

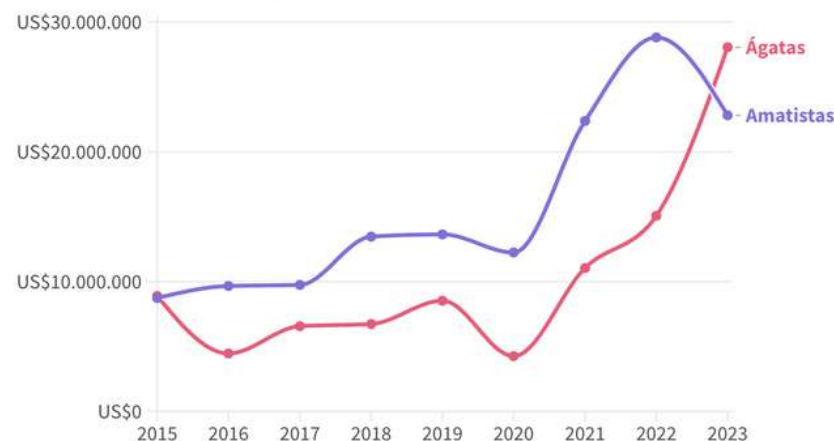


Figura 3. Exportaciones de ágatas y amatistas. Fuente: Dinamige



Figura 4. Empresaria china tomando videos de las amatistas de Artigas.
Fuente: Darwin Borrelli

RELEVANCIA DEL PULIDO EN LA PREPARACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LAS PIEDRAS

Después de visitar varios talleres y conversar con trabajadores, se observó que el pulido es un proceso esencial en la industria de las piedras. Este proceso elimina imperfecciones, resalta las características de las piedras y contribuye a mejorar su calidad y estética, lo que a su vez aumenta su valor comercial.

Como explica Garcia (2023), “lijar significa alisar, pulir, abrillantar o limpiar algo mediante el frotamiento con un objeto abrasivo, generalmente una lija. El lijado es una tarea fundamental en cualquier trabajo de acabado.”

CARACTERÍSTICAS DEL POLVO DE SILICE

Sin las medidas de precaución adecuadas, la inhalación de este polvo puede ser perjudicial para quienes realizan este trabajo.

Altahona y Gutierrez (2001) señalan que, el polvo o polvillo incluye todos los sistemas de partículas sólidas esparcidas por un medio gaseoso. El polvillo se produce al triturar, moler, barrenar, maquinar, rectificar, pulir, al desmoldar en las funciones y en otros procesos, y puede tener consecuencias adversas para la salud de los trabajadores.

El tamaño de las partículas es de gran importancia, así como su forma, densidad y carga eléctrica; estas propiedades se deben tener en cuenta tanto desde el punto de vista tecnológico como el higiénico.

Comprender estas características es importante, ya que determinan cómo interactúa el polvo con el cuerpo humano, especialmente con el sistema respiratorio, ya que presentan riesgos para la salud.

La Sílice existe en diferentes formas: cristalina, criptocristalina y amorfa. Además, el polvo se clasifica según el tamaño de sus partículas, “el polvo está constituido por diferentes tamaños de partículas, las cuales son clasificadas en “fracciones de polvo”. **Existen tres fracciones de polvo: las fracciones inhalables, torácicas y respirables**” (Gobierno de España et al., s. f., p. 10)

Gil (2013) explica que las partículas más pequeñas de sílice, con un tamaño inferior a 5 micrómetros, son las que al ser inhaladas logran llegar hasta los alvéolos pulmonares, donde quedan retenidas.



Figura 5. Contaminación del aire. Fuente: norma ISO 16890

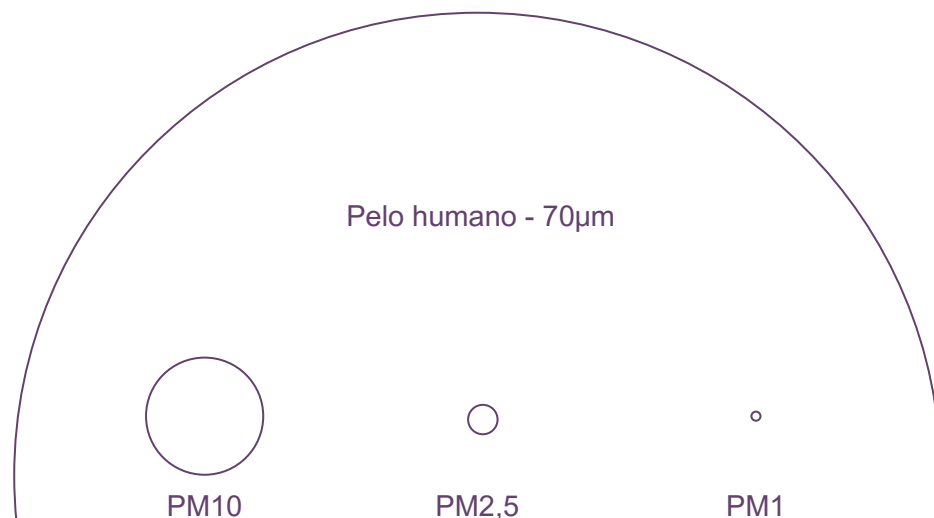


Figura 6. Ilustración de tamaño de las partículas. Fuente: norma ISO 16890

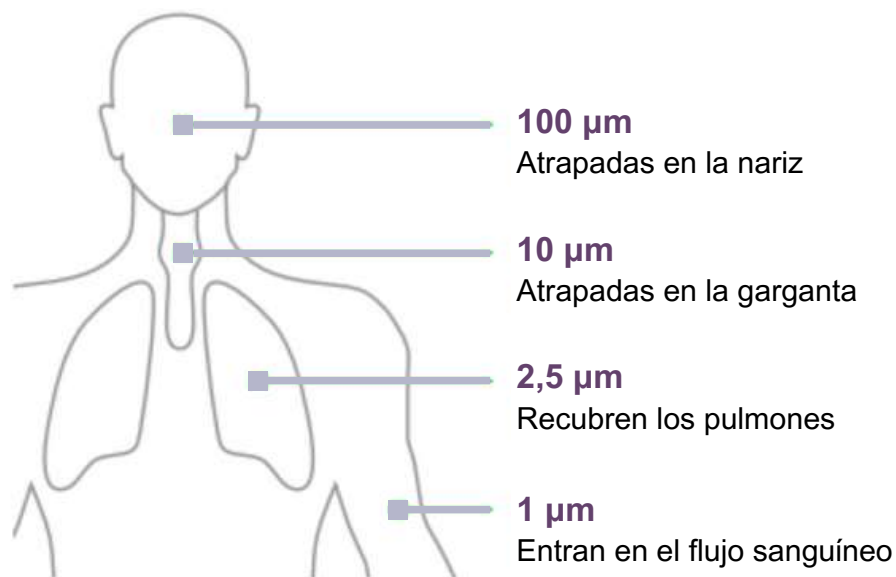


Figura 7. Tamaño de las partículas. Fuente: norma ISO 16890

Este trabajo se centra en la sílice cristalina respirable, ya que esta es capaz de penetrar en los pulmones. En casos de exposición prolongada es cuando puede generar la enfermedad silicosis.

“Los materiales o productos que contienen sílice representan un peligro en la medida que ésta alcance un tamaño de partícula de polvo respirable (partículas menores a 10 micrones), ya que al inhalarse, estas partículas pueden penetrar profundamente en los pulmones, siendo en ocasiones imperceptibles a simple vista.” (Instituto de Salud Pública, 2016)

“La exposición ocupacional a la sílice cristalina respirable ocurre en muchas industrias, entre las que se incluyen la explotación de canteras, la minería, el procesamiento de minerales (por ejemplo, el secado, la trituración, el ensacado y el manejo)” (NEPSI | Good Practice Guide, s. f., p. 7) Por lo tanto, es fundamental implementar estrategias útiles para controlar la exposición y proteger la salud de los trabajadores. En el [anexo 2.0](#) se pueden observar los efectos que el polvo de sílice provoca en la salud respiratoria, así como los tipos de silicosis existentes y los síntomas que esta puede causar.

DESAFIOS Y LIMITACIONES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTAS NORMATIVAS EN LA REGIÓN.

A la hora de implementar normativas ver anexo 3.0 en el entorno laboral para mejorar la salud de los trabajadores, se enfrentan varios desafíos y limitaciones que se deberán considerar a la hora de la innovación.

En primer lugar, la falta de conciencia de los trabajadores de la industria de piedras sobre los riesgos que corren al enfrentarse tantas horas al polvo. En las entrevistas realizadas (ver anexo 6.0) se pudo observar que, la mayoría de estos no están informados sobre las graves consecuencias que trae la exposición para la salud. Al no ser conscientes de esto, dificulta la utilización de prácticas preventivas.

En las empresas grandes, si se realizan capacitaciones sobre el uso adecuado de los equipos de protección personal y campañas de concientización sobre la problemática, pero no así en los pequeños talleres de la ciudad donde se realiza el proceso de pulido, donde se encuentran los trabajadores mas expuestos.

Por otro lado, otra limitación del proyecto es la economía, la implementación de un sistema de control del polvo puede ser costoso.

Los talleres que pulen no tienen los recursos para adquirir e instalar equipos de alto precio. Además, la falta de proveedores locales puede retrasar o dificultar el proceso.

También puede ser un factor que limite, la resistencia al cambio por parte de los trabajadores, si bien en las entrevistas mostraron interés en los cambios a desarrollar.

Por último podría ser una limitación la infraestructura deficiente en los talleres de pulido, debido a que puede dificultar por la falta de espacio y electricidad estable.

En el anexo 4.0 se puede observar un esquema que identifica los diferentes riesgos a los que están expuestos los trabajadores. Dentro de los factores químicos se encuentra el polvo. Además, se sugiere una serie de medidas para controlar este contaminante.

MEDIDAS TÉCNICAS PARA EL CONTROL DEL POLVO DE SÍLICE EN EL LUGAR DE TRABAJO.

VENTILACIÓN Y EXTRACCIÓN DE POLVO

Es de gran importancia disponer de aire limpio y sin contaminar en el ambiente de trabajo. En la actualidad, las industrias utilizan diferentes procesos y operaciones que liberan sustancias, polvos, entre otros contaminantes que poseen grandes riesgos para la salud de los trabajadores ya que en el ambiente pueden presentarse en concentraciones que excedan los niveles de seguridad.

La ventilación y la extracción de polvo son necesarios para reducir la exposición a partículas de polvo en el lugar de trabajo. En los talleres, el polvo generado durante el pulido puede ser peligroso si no se controla. Por este motivo implementar un sistema de ventilación es fundamental para proteger la salud de los trabajadores.

Además de los sistemas de ventilación, se deben adoptar prácticas complementarias para minimizar la exposición al polvo, como evitar la limpieza en seco y uso de aire comprimido para removerlo.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

En las empresas y canteras, se proporciona a los trabajadores equipos de protección individual (EPI) y se recomienda su uso, además de realizar charlas informativas sobre la importancia de estos. Sin embargo, por diversos motivos, el personal a veces opta por no utilizarlos.

En cuanto a los talleres, los trabajadores deben adquirir su propia protección.

Aunque en las empresas donde trabajan de manera tercerizada se recomienda el uso de equipos de protección individual (EPI) y se explica sobre los problemas que la falta de uso puede causar, la decisión de utilizarlos o no, recae en cada persona.

Durante varios recorridos, observamos que parte del personal utilizaba máscaras respiratorias, mientras que otros no. Asimismo, no usaban lentes ni guantes, a pesar de que el pulido de piedras implica, además de problemas respiratorios, otros riesgos asociados. En entrevistas realizadas, los trabajadores nos comentaron que los EPI les resultan incómodos, les genera calor y otras molestias. Además, en algunos talleres se utilizan máscaras no adecuadas, ya que las específicas para este tipo de partículas son más costosas.

En anexo 5.0 se presenta una lista de los equipos adecuados para estos procesos.

PRÁCTICAS DE TRABAJO SEGURAS Y CAPACITACIÓN DE LOS TRABAJADORES.

La seguridad en el entorno laboral es fundamental para el bienestar de los trabajadores. En el contexto del procesamiento de piedras preciosas, es crucial que se implementen prácticas de trabajo seguras y se proporcione capacitación adecuada de los empleados para prevenir accidentes y enfermedades laborales. Como señala Guerra et al. (2021), “en una organización, la actividad continua, constante e ininterrumpida debe ser la capacitación de las personas. Pese a que el personal presente un desempeño excelente, es necesario introducir e incentivar alguna orientación; esto mejoraría las habilidades y competencias laborales. Para que una persona alcance niveles elevados de desempeño es indispensable una constante capacitación, como una principal mejora de programas.”

Estas prácticas no solo abarcan el uso de equipos de protección adecuados, sino también la adopción de procedimientos que reduzcan los riesgos a los que están expuestos los trabajadores.

Los responsables de las empresas tienen el deber de ofrecer charlas informativas que concienticen a los empleados sobre los riesgos que enfrentan a diario y les enseñen a cómo reducir estos riesgos de manera efectiva.

En el área de las piedras, donde el pulido y manipulación de materiales representan grandes riesgos, capacitar a los trabajadores es fundamental para evitar incidentes graves que puedan afectar la salud y seguridad de estos.

La capacitación tiene un rol importante en la organización y en el personal ya que crece su productividad. Como menciona Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (s. f., p. 52), “la información y formación adecuadas harán que el trabajador sea consciente de los riesgos que corre en la ejecución de su trabajo y conozca las medidas preventivas dispuestas, así como su correcta utilización y/o ejecución.”

Por lo tanto, capacitar de forma regular e implementar prácticas seguras no solo previene accidentes, sino que también fomenta un mayor compromiso con las prácticas laborales.



CAPITULO 3

RELEVAMIENTO DE LA SITUACIÓN

En este capítulo se presenta un análisis detallado de la situación actual y el contexto en el que se desarrolla la industria de ágatas y amatistas en la región. El relevamiento de la situación busca identificar las condiciones laborales y las prácticas actuales en el trabajo.

Este análisis es fundamental para comprender el entorno en el que operan los trabajadores y para fundamentar las propuestas de mejora en la salud ocupacional que se desarrollarán en este trabajo de grado.

“La ley N° 19.238 declara a la ciudad departamental de Artigas como capital nacional de las piedras preciosas y semipreciosas, amatistas y ágatas, en razón de las concentraciones de estas piedras que se hallan localizadas en el valle y en toda la cuenca del arroyo Catalán” (Dirección de Estudios Económicos, 2019).

“Aproximadamente 25 empresas se dedican a la producción de piedras semipreciosas.

Artigas tiene entre sus riquezas un extenso y muy rico yacimiento de amatistas y ágatas, que hoy genera ingresos al departamento por unos US\$ 45 millones al año, además de unos 2.000 empleos directos. Si bien son cifras relevantes, por el posicionamiento internacional del producto y el conocimiento generado en la zona podrían duplicarse en cinco años. Para que suceda, es clave aumentar el volumen de exportaciones de piedras industrializadas, disminuyendo la salida de piedras en bruto.” (Sanchis, 2023)

Eso afirmó a El Observador Carlos Sanchis, director de la empresa Le Stage SA, que emprende diferentes procesos que consideran todo el ciclo productivo: la extracción de ágatas y amatistas, su industrialización y exportación.

“Por cada puesto de trabajo en la etapa minera se generan seis en la etapa industrial y estaría bueno que esos empleos se generen todos en Uruguay, que es algo que Artigas precisa mucho” (Sanchis, 2023)

Para llevar a cabo el relevamiento de la situación de este trabajo se comenzó contactando a las empresas mineras de Artigas para acudir a visitas de territorio.

Los primeros encuentros fueron con los dueños de las empresas más grandes de la localidad, quienes dieron información sobre la historia de la industria y adentraron en el proceso productivo de la misma, a su vez, nos brindaron visitas a las canteras, talleres y empresas. A partir de esto se observó el procedimiento industrial de la piedra desde su extracción hasta su comercialización.

Al realizar el trabajo de campo de este proceso, los dueños revelan que, el pulido de las piedras no se realizan dentro de los galpones de trabajo de las grandes empresas, sino que tercerizan esa parte del proceso a pequeños talleres de la ciudad.

Si bien dueños de otros talleres pequeños sí proporcionan herramientas de protección y según las entrevistas realizadas si las usan ([anexo 8.0](#)), al acudir al lugar se observó que las medidas de seguridad no son utilizadas por los trabajadores por elección propia.

En el [anexo 7.0](#) se puede observar el esquema del proceso industrial. A través de fotografías, se muestra que la extracción de ágatas y amatistas comienza en las canteras, donde las piedras son seleccionadas y cortadas en bloques manejables. Luego, se les da forma y tamaño según las necesidades del mercado, se pulen y se lavan. Finalmente, son tratadas con vaselina para darles brillo, empaquetadas y transportadas al mercado.

CATEGORIZACIÓN DE LAS EMPRESAS

Según el decreto 504/07 del 20/12/2007 clasifican a las empresas en: micro, pequeñas y medianas.

TIPO DE EMPRESA	PERSONAL OCUPADO	VENTAS ANUALES (EXCLUIDO IVA)
MICRO	1 A 4	2.000.000 UI
PEQUEÑA	5 A 19	10.000.000. UI
MEDIANA	20 A 99	75.000.000 UI

Tabla 1. Categorización de las empresas. Fuente: “Clasificaciones de las organizaciones” de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración.

En base a la tabla anteriormente mencionada, podemos definir el tamaño de las empresas según el personal ocupado y la infraestructura de las mismas. Debido a que no fue relevante obtener información sobre las ventas anuales no se tomará en consideración este punto para clasificar a las empresas.

Se consideran grandes empresas a aquellas con más de 100 empleados y una infraestructura significativa, que incluye maquinaria avanzada y canteras propias. Ejemplos de estas empresas son Le Stage, Uruguay Minerals y Barrios Amethysts.

Las empresas medianas tienen entre 20 y 99 empleados. Un ejemplo de este tipo de empresa es Rodriguez de Almeida.

Por otro lado, las pequeñas empresas tienen un personal ocupado de entre 5 y 19 empleados. Un ejemplo de estas empresas es Martinez.

Finalmente, los talleres domésticos se consideran microempresas, ya que cuentan con un personal de entre 2 y 3 personas.

La siguiente tabla muestra un relevamiento de las actividades desarrolladas en distintos lugares visitados que se dedican a la industria de ágatas y amatistas en la región. Esta información fue recopilada a través de entrevistas semiestructuradas ([ver anexo 8.0.](#)) Las empresas y talleres mencionados, como Le Stage Minerals, Martinez, Ribeiro, Rodriguez de Almeida y varios talleres locales, participan en diferentes etapas del proceso de extracción, traslado, lavado, clasificación, corte, preformado, lijado, pulido y comercialización de estas piedras.

Este relevamiento facilita la comparación de los procesos realizados en cada empresa y taller visitado, destacando tanto las variaciones como las similitudes, lo que contribuye a identificar el lugar crítico donde se aborda la parte del proceso con mayor exposición al polvo.

	LE STAGE MINERALS	MARTINEZ	RIBEIRO	RODRIGUEZ DE ALMEIDA	TALLERES
Extracción	✓	✓	✓	✓	
Traslado	✓	✓	✓	✓	
Lavado	✓	✓	✓	✓	
Clasificación	✓	✓	✓	✓	
Cortado	✓	✓	✓	✓	
Preformado	✓		✓	✓	
Pulido				✓	✓
Comercialización	✓	✓	✓	✓	

Tabla 2. Actividades realizadas en lugares visitados. Fuente: elaboración propia

A partir de la información presentada en la tabla, se puede observar que todos los lugares realizan las etapas iniciales y finales del proceso, excepto la parte de pulido que es tercerizada y realizada por los talleres. Esta información es clave para entender la cadena productiva de la industria y permite identificar oportunidades para la mejora de los talleres, ya que estos son los que están en mayor exposición al polvo.

DESCRIPCIÓN DE TALLERES

Aunque muchos de estos talleres se encuentran en zonas apartadas de la ciudad, la creciente demanda ha llevado a que algunos se ubiquen en áreas más céntricas.

La infraestructura de los talleres suele ser limitada, instalados en espacios reducidos y sin las condiciones necesarias para un trabajo cómodo. En varios casos, los talleres están ubicados en la parte trasera de las viviendas, aprovechando el poco espacio disponible.



Figura 8. Visita a talleres. Fuente: elaboración propia.

La maquinaria utilizada es similar en todos los talleres, con un equipo de dos extremos donde se colocan los rebolos, permitiendo que dos personas trabajen en paralelo. Además, suelen adaptar lámparas para mejorar la visibilidad durante el proceso.



Figura 9. Máquina utilizada en los talleres. Fuente: elaboración propia.



Figura 10. Puesto de trabajo en taller doméstico. Fuente: elaboración propia.

En los recorridos por los talleres se observó la presencia de muchos jóvenes en esta actividad, así como trabajadores que buscan ingresos adicionales además de sus empleos fijos. En algunos casos, el trabajo se transmite de generación en generación dentro de las familias. El proceso de producción comienza con la recogida de cajones de piedras en las empresas, donde se pesan y se acuerda una fecha de entrega.

Dentro del taller, las tareas pueden dividirse en distintas etapas. Una persona se encarga de eliminar el material excedente, luego se lleva a cabo un primer pulido con un grano adecuado para mejorar el acabado y, finalmente, se realiza un pulido final para otorgarle a la piedra su brillo característico. Una vez realizado todo el proceso, las piedras se devuelven a la empresa para ser examinadas.

Como los talleres trabajan de manera tercerizada, los equipos de protección son responsabilidad de cada trabajador. En cuanto a las máscaras respiratorias adecuadas, su alto costo en el mercado uruguayo ha llevado a que una de las empresas las importe y las venda a precios accesibles para facilitar su adquisición. En términos de seguridad, al ser talleres domésticos y de bajo presupuesto, suelen contar solo con lo básico para realizar el trabajo, sin prestar mucha atención a aspectos como ventilación.

Aunque algunos talleres han intentado implementar métodos para reducir la cantidad de polvo en el ambiente, las limitaciones de espacio, la falta de infraestructura adecuada y la escasez económica impiden su funcionamiento eficiente. En algunos casos, se utilizan ventiladores para desplazar el polvo, aunque esto no es una solución efectiva. Estos talleres cuentan con lo mínimo necesario para llevar a cabo su labor.

Entonces se observa que, quienes están mayormente expuestos al polvo de sílice son quienes tienen menos protección laboral dentro de la cadena del procesamiento industrial.



Figura 11. Métodos utilizados para reducir el polvo. Fuente: elaboración propia.



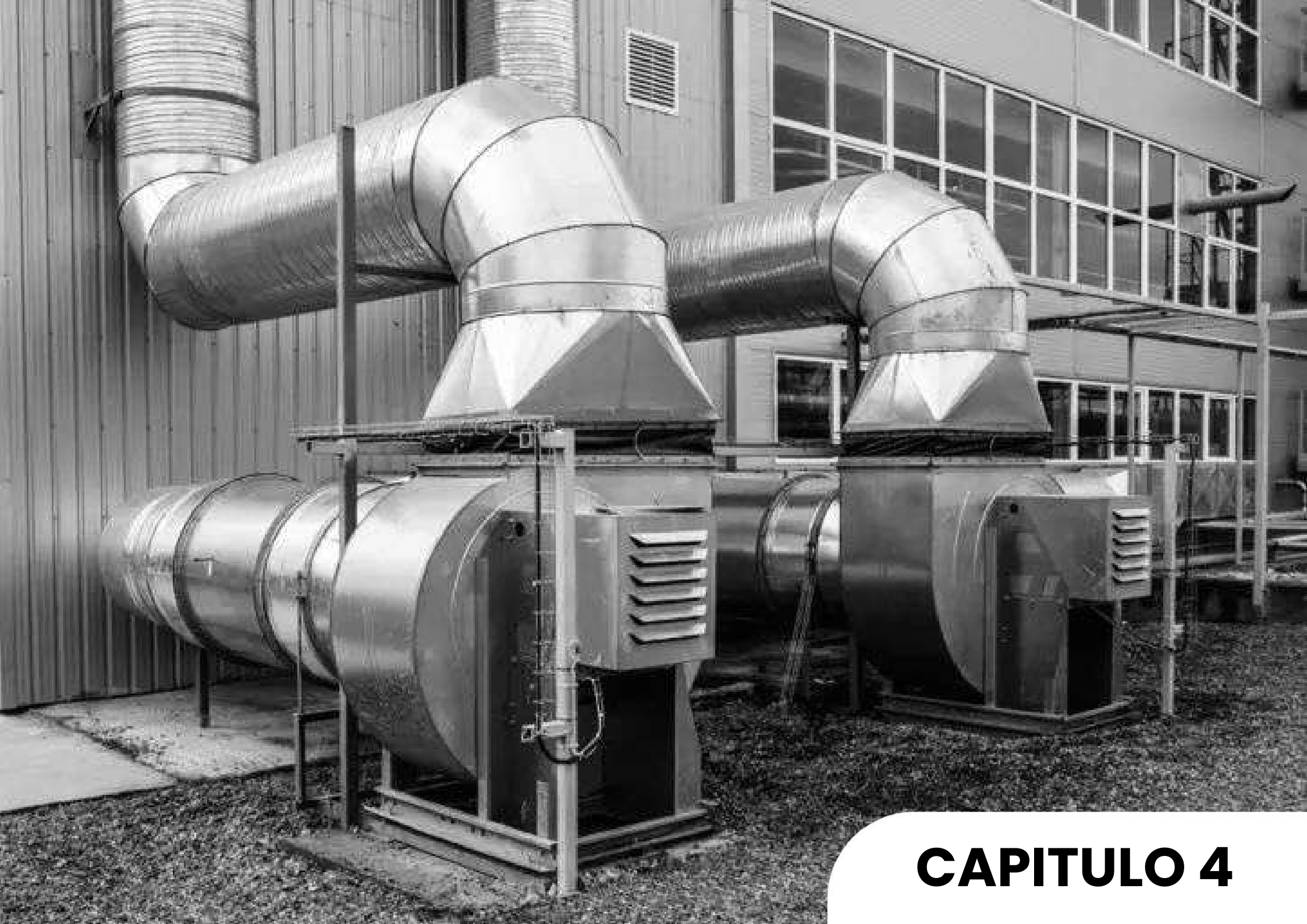
Figura 12. Instalación de extractor para control de polvo. Fuente: elaboración propia.



Figura 13. Polvo suspendido en el ambiente. Fuente: elaboración propia.



Figura 14. Acumulación de polvo en los talleres. Fuente: elaboración propia.



CAPITULO 4

SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE POLVO

En este capítulo se aborda la importancia de los sistemas de extracción de polvo en entornos industriales, destacando su papel en la mejora de la calidad del aire y la seguridad laboral. Se presentan conceptos fundamentales para comprender su funcionamiento y se analizan las distintas tecnologías disponibles en el mercado.

Asimismo, se analizan las características, capacidades y aplicaciones de diversos sistemas, brindando información esencial para su comparación. Este estudio permitirá evaluar sus ventajas y desventajas en distintos entornos industriales, con el propósito de determinar las soluciones más eficientes y adecuadas para los talleres domésticos, teniendo en cuenta su desempeño, viabilidad económica y requisitos operativos.

DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EXTRACTOR DE POLVO

Las industrias, debido a la complejidad de sus operaciones y procesos, emplean una variedad de sustancias y productos químicos de los cuales varios son tóxicos. Estos agentes pueden generar niveles de contaminación que superan los límites de seguridad.

“Un extractor de polvo es un dispositivo diseñado para recolectar partículas de polvo o gases presentes en el aire. Este sistema aspira el aire contaminado, lo filtra y devuelve aire limpio al ambiente de trabajo, contribuyendo a la salud y bienestar de los trabajadores”. (Macrofilter, 2024)

El control de la contaminación y la reducción de polvo son esenciales para mantener un ambiente laboral seguro y cumplir con las normativas, protegiendo tanto a las personas como al medio ambiente.

RELEVANCIA DEL USO DE EXTRACTORES DE POLVO EN LA INDUSTRIA DE PIEDRAS

Es esencial, ya que impacta tanto la salud de los trabajadores como la productividad de las operaciones. Como se mencionó en capítulos anteriores, el proceso de pulido genera polvo compuesto por sílice, cuya inhalación prolongada puede causar enfermedades respiratorias graves y crónicas.

La implementación de un sistema de extracción de polvo minimiza la exposición de los trabajadores a estos agentes nocivos, mejorando las condiciones laborales al capturar las partículas contaminantes en el aire. Además, al utilizar extractores en los talleres, se crea un ambiente de trabajo más limpio y seguro, lo que permite a los empleados trabajar de manera segura, mejorando su productividad.

FUENTES CONTAMINANTES

TIPO	TAMAÑO
Polvos	0.25 a 30 micras
Aerosoles	1.01 a 0.1 micras
Niebla	10 a 20 micras
Vapores	es variable el tamaño

Tabla 3. Fuentes contaminantes. Fuente: Macrofilter

OBJETIVO DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN DE EMISIONES DE POLVO

- Proteger del ambiente laboral y la seguridad y salud de los colaboradores
- Cumplir con la legislación.
- Evitar la formación de espacios con atmósferas explosivas o dañinas.
- Conservar la integridad y buen funcionamiento y evitar daños a equipos a causa del polvo.
- Asegurar procesos productivos sin contaminantes.

TIPOS DE COLECTORES DE POLVO

Se realizó un estudio de los diferentes colectores de polvo, diferentes diseños y aplicaciones de acuerdo con las necesidades. (ver [anexo 9.0.](#))

En base a estas consideraciones, se optó por desarrollar un colector de polvo de tipo ciclón debido a su fácil fabricación y armado, lo que permite realizarlo de forma económica.

BÚSQUEDA DE MAQUINAS EXISTENTES

Se realizó una búsqueda de las diferentes máquinas y tecnologías actualmente disponibles para la reducción del polvo. Donde se proporciono una descripción, destacando sus características, funcionamiento y aplicación en diversos entornos de trabajo.

Además, se evaluaron las ventajas y desventajas de cada tipo de máquina, considerando aspectos como la eficiencia en la captura de polvo, la facilidad de uso, el costo de adquisición y mantenimiento, y la adaptabilidad a diferentes tamaños de empresas.

En el [anexo 10.0](#) se pueden consultar las tablas realizadas con un análisis detallado de cada máquina.

CONCLUSIONES DE LA BÚSQUEDA

La elaboración de las tablas permite concluir que existe una gran variedad de máquinas utilizadas para reducir el polvo, cada una con características y funcionalidades distintas. Estas máquinas se evalúa principalmente en función de su capacidad para capturar y contener polvo contaminante en el punto de origen, un factor significativo para garantizar la seguridad laboral.

Además, la implementación depende de las necesidades y capacidades específicas de cada taller. Aunque varias de las opciones analizadas son utilizadas en grandes empresas, este trabajo se centra en los talleres domésticos de la ciudad, que generalmente no cuentan con gran infraestructura. Por lo tanto, analizar soluciones más flexibles y adaptables para espacios reducidos es esencial para evaluar características relevantes para el diseño de un dispositivo para estos entornos.

En cuanto a los beneficios económicos, invertir en un dispositivo que reduzca la exposición al polvo contaminante puede mejorar la salud laboral y la productividad de los empleados.

Por lo tanto, la implementación de la maquinaria adecuada debe basarse en una evaluación rigurosa de las necesidades específicas de los talleres, considerando factores como el tipo de proceso, el entorno de trabajo y otras características particulares.

CLASIFICACIÓN DE EXTRACTORES

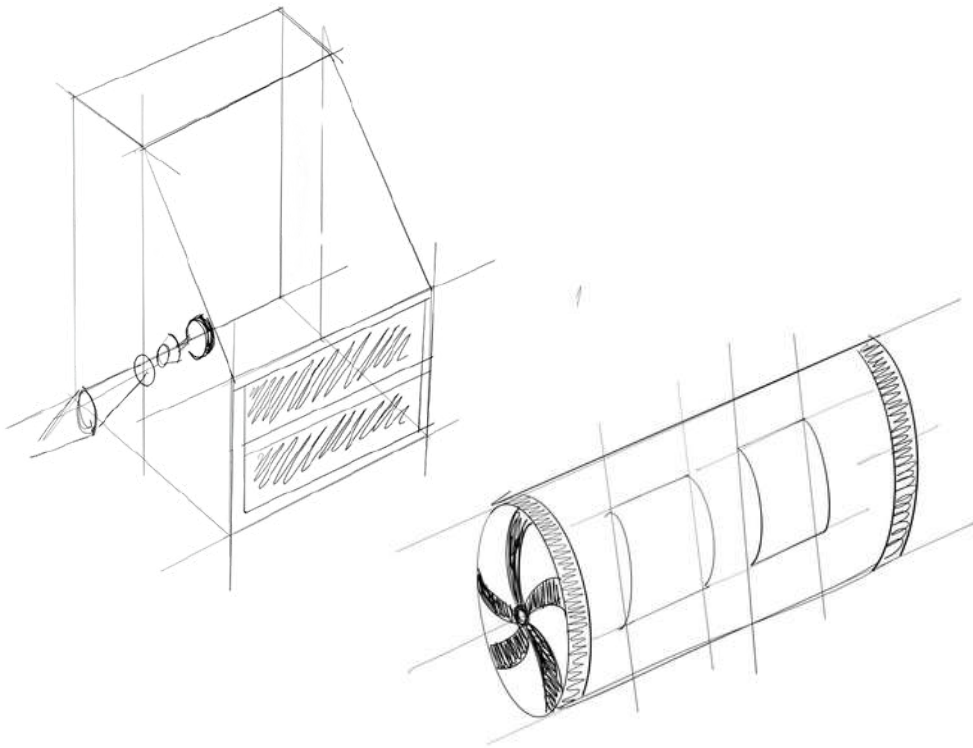
En el [anexo 11.0](#) se presenta una tabla comparativa que detalla las ventajas y desventajas de dos tipos de sistemas de extracción de polvo utilizados en la industria: los extractores de ventilación general y los extractores de captación localizada. Ambos métodos son fundamentales para el control de la calidad del aire y la seguridad en el lugar de trabajo, aunque cada uno tiene características que los hacen más adecuados para diferentes situaciones y necesidades.

CONCLUSIONES DE LA CLASIFICACIÓN

En conclusión, tanto los extractores de ventilación general como los de captación localizada ofrecen soluciones funcionales para el control de polvo y la mejora de la calidad del aire en entornos industriales. Los extractores de ventilación general son ideales para espacios amplios donde el polvo está disperso, mientras que los de captación localizada son más eficientes para capturar partículas directamente en la fuente de generación. La elección entre ambos sistemas dependerá de las características del lugar de trabajo, el tipo de contaminante y los requerimientos específicos de control de emisiones. En muchos casos, una combinación de ambos sistemas puede ofrecer la mejor solución para garantizar un ambiente laboral seguro y cumplir con las normativas de salud y seguridad.

PRIMERAS PROPUESTAS

En la búsqueda de mejorar las condiciones de trabajo en los talleres de pulido, se desarrollan dos bocetos como primer acercamiento, enfocados en reducir la exposición al polvo y aumentar la seguridad de los trabajadores. Ambos diseños fueron evaluados y ajustados en función de la retroalimentación obtenida de los trabajadores, revelando tanto sus ventajas como las limitaciones prácticas que afectan su implementación.



OBJETIVOS DE LOS BOCETOS

A través de la investigación de las máquinas del mercado nacional e internacional, se realizaron dos bocetos, como primer acercamiento, con el objetivo principal de visualizar ideas iniciales y recoger la retroalimentación de quienes se enfrentan diariamente a los problemas que se busca resolver.

Cada boceto fue diseñado con la intención de proponer un sistema de extracción que sea accesible y adaptable a los talleres de la región.

En esta etapa, se consideraron aspectos como:

- Adaptación del diseño en el espacio de trabajo: cómo y dónde se integraría el sistema de extracción en los talleres.
- Funcionalidad y accesibilidad: uso de materiales y componentes disponibles en el mercado local, asegurando un diseño que sea fácil de operar y mantener. A su vez económicos para la adquisición de los talleres.
- Seguridad: minimizar la exposición de polvo

Para validar la viabilidad de los diseños, estos fueron presentados a los trabajadores con el fin de obtener su retroalimentación. Se presentaron y se explicó cómo funcionará el sistema. A través de los comentarios se obtuvo información relevante para el diseño del sistema final.

BOCETO 1

Uno de los bocetos desarrollados consistía en una cabina fabricada en policarbonato mediante termoformado. Esta propuesta se consideró útil, ya que no solo ayudaría a contener el polvo generado durante el pulido, sino también a proteger a los trabajadores de otros peligros, como lascas de piedra que podrían afectar los ojos u otras partes del cuerpo.

El diseño inicial fue ajustado para mejorar la comodidad incluyendo modificaciones en las áreas donde se colocan las manos, permitiendo un manejo más ergonómico durante el proceso de pulido. Además, se tomó en cuenta el tamaño mayor y el peso de las piedras que suelen ser trabajadas en estos talleres.

También se incorporaba un sistema de extracción de polvo en la parte inferior de la cabina, conectado a través de tubos hasta un recipiente con agua donde el polvo se sedimentaría como barro.

En el [anexo 12.0](#) se pueden observar las tablas realizadas, como las ventajas y desventajas del diseño de la cabina.



Figura 15. Boceto 1- Cabina, Cabina. Fuente: elaboración propia.

BOCETO 2

El segundo boceto propuesto consta de un sistema de pulido integrado dentro de un tubo cilíndrico de gran longitud, en cuyo interior se disponen varias pulidoras distribuidas a lo largo de su estructura.

Este diseño se consideró útil, ya que permitiría canalizar de manera efectiva el polvo generado durante el proceso, gracias a la presencia de un extractor de aire en uno de sus extremos y un sistema de expulsión en el otro. Las pulidoras estarían situadas en zonas específicas del tubo, el cual contaría con perforaciones para que los trabajadores pudieran acceder y realizar su trabajo de manera controlada.

En el [anexo 12.0](#) se pueden observar las tablas realizadas, como las ventajas y desventajas de este diseño.

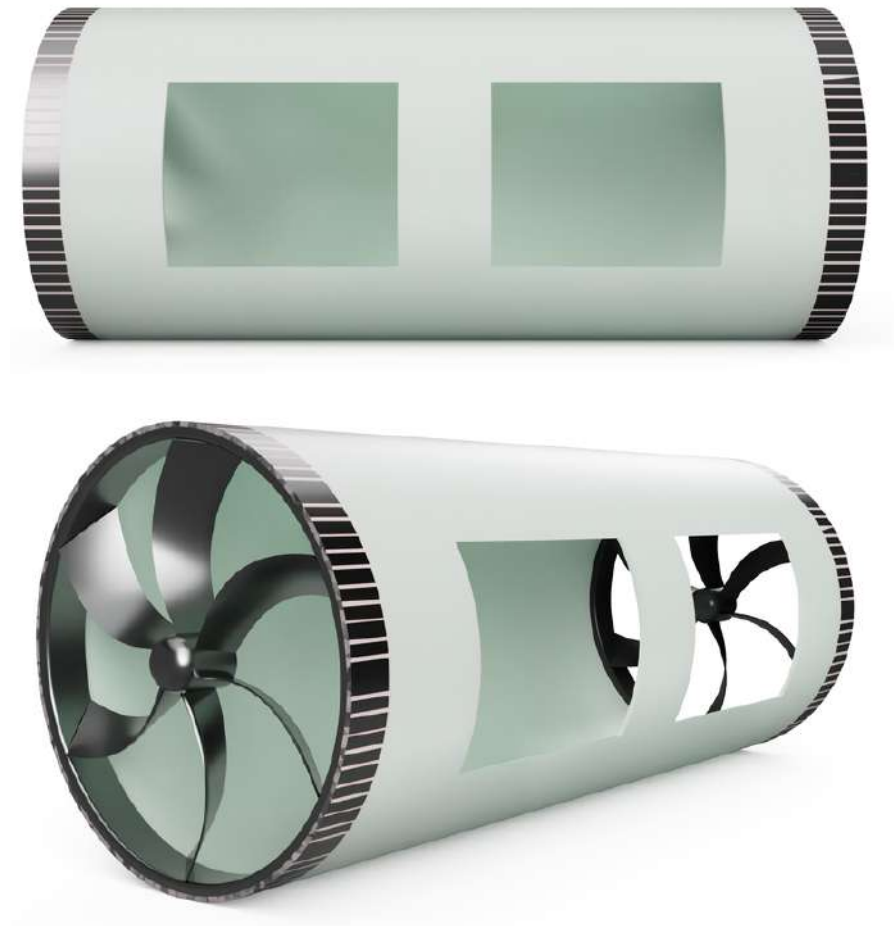


Figura 16. Boceto 2, tubo cilíndrico. Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIÓN BOCETO 1

El diseño de la cabina enfrenta diversos desafíos. Uno de los principales inconvenientes es que los trabajadores necesitan apoyar las piedras en sus piernas durante el pulido, lo que dificulta su uso. También se observa una pérdida de operatividad en talleres que emplean máquinas diseñadas para dos operarios simultáneamente.

Se identificó la necesidad de un sistema que mejore la visibilidad dentro de la cabina. Además, los trabajadores expresaron preocupación por la visibilidad de la pieza en la que están trabajando, lo que sugiere la incorporación de un sistema que mantenga limpia la superficie de observación.

Aunque el diseño ofrece beneficios en términos de seguridad y control del polvo, su adecuación a las condiciones reales de trabajo requiere ajustes. La retroalimentación de los trabajadores fue fundamental, ya que permitió identificar aspectos no considerados inicialmente, como la funcionalidad, la seguridad y la accesibilidad, tomando en cuenta las características específicas de los talleres.

CONCLUSIÓN BOCETO 2

La evaluación del diseño del sistema de pulido en un tubo cilíndrico reveló varias limitaciones. Los trabajadores señalaron, al igual que con el boceto anterior, que la principal dificultad radica en su incompatibilidad con las prácticas habituales, ya que suelen apoyar las piezas en sus piernas, algo que resulta complicado debido a la estructura del tubo.

Además, las perforaciones en el tubo no proporcionaban el grado de libertad necesario para maniobrar las piedras, y surgieron preocupaciones sobre la visibilidad de las piezas durante el pulido debido a la escasa luz natural en el interior del tubo.

Otro inconveniente identificado fue la falta de adaptación del diseño a los espacios reducidos de los talleres. El sistema requiere ajustes para mejorar su ergonomía y funcionalidad.

CONCLUSIÓN DE BOCETOS Y COMENTARIOS

A raíz de los comentarios realizados por los trabajadores sobre los problemas generados por la acumulación de polvo en los talleres, se decidió profundizar en la investigación de métodos más convenientes que se adapten mejor a las necesidades del entorno y garanticen mejores resultados, considerando la salud de los trabajadores y el desempeño de las operaciones.

ANÁLISIS DE LA PROPUESTA

Tras realizar investigaciones sobre las máquinas existentes, se concluye que los talleres requieren un dispositivo que cuente con un sistema de extracción capaz de capturar los contaminantes directamente en su fuente de origen. Además, es fundamental que este dispositivo incluya un sistema de separación de partículas de sílice y que sea de fácil armado y bajo costo, para facilitar su implementación en los talleres domésticos.

Por lo tanto en el desarrollo del trabajo se ha decidido implementar un extractor de polvo que combina una extracción localizada y un separador ciclónico.

La extracción localizada es fundamental en este diseño, ya que permite capturar el polvo directamente en la fuente donde se genera, evitando su dispersión en el ambiente. Este tipo de extracción no solo protege la salud de los trabajadores al reducir la exposición a partículas nocivas, sino que también mejora las condiciones de trabajo al mantener un ambiente más limpio y seguro. Además, al capturar las partículas en la fuente, se incrementa la eficiencia del sistema y se reduce la cantidad de aire que necesita ser tratado, lo que hace que el sistema sea más económico y fácil de operar.

COMPONENTES DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE POLVO

1. PUNTOS DE CAPTURA: CAMPANA DE EXTRACCIÓN

“La campana es el punto de entrada al sistema de extracción, cuya función es crear un flujo de aire que capture eficazmente los contaminantes y lo transporte hacia la campana”. (Márquez & Ulloa, 2018)

Este es un elemento clave dentro de un sistema de extracción de polvo. Su diseño y capacidad determinan el caudal de aire requerido para el proceso de filtración, esto influye a su vez en el tamaño y costo del equipo.

Al definir el tamaño, se establece la cantidad de elementos filtrantes que el sistema necesitará y esto se relaciona con el precio.

2. RED DE DUCTOS

Según Procequip y Procequip (2023), la red de ductos es vital para conducir los contaminantes desde las tomas o campanas de extracción, hasta el equipo de filtración. Los ductos deben diseñarse, de tal manera que faciliten la conducción de las emisiones evitando que haya depósitos o taponamientos, debe

generar la mínima pérdida de presión posible y construirse con el material adecuado para evitar desgaste prematuro (por humedad, abrasión, corrosión, etc); infiltraciones de aire y fuga de los contaminantes, particularmente en las uniones bridadas.

3. DEPURADOR

“Es el elemento responsable de separar las partículas contaminantes del aire extraído y depositarlas en contenedores”. (Industrial, 2022)

4. VENTILADOR (O EXTRACTOR)

“También conocido como extractor, provoca la circulación o aspiración de partículas, siendo este el elemento que proporciona la energía al sistema”. (Industrial, 2022)

FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA

“Los extractores son equipos que, mediante un ventilador motorizado, crean una corriente de aire negativa para absorber humo, polvo y otros contaminantes del ambiente. Este sistema filtra las partículas dañinas que quedan suspendidas en el aire” (Macrofilter, 2024)

FASES DEL FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de un sistema de extracción localizada de polvo comienza en la **campana de extracción**, que es el punto donde se captura el aire contaminado en la fuente de generación del polvo. Una vez capturado, el aire es transportado a través de los **ductos**, que lo conducen hacia el equipo de filtración o **depurador**.

En este punto, se lleva a cabo la **separación de partículas**. En algunos sistemas, se utiliza una **etapa de pre-filtración** que permite eliminar las partículas más grandes antes de que el aire continúe hacia el sistema de filtración principal.

Luego, el aire pasa a través del sistema de filtración principal, donde se eliminan las partículas más pequeñas y se asegura que el aire sea purificado antes de ser liberado al ambiente.

Para finalizar, un ventilador situado en el sistema genera la circulación de aire y mantiene el flujo continuo, permitiendo que el aire contaminado sea succionado hacia el depurador y el aire limpio sea expulsado al ambiente.

DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO

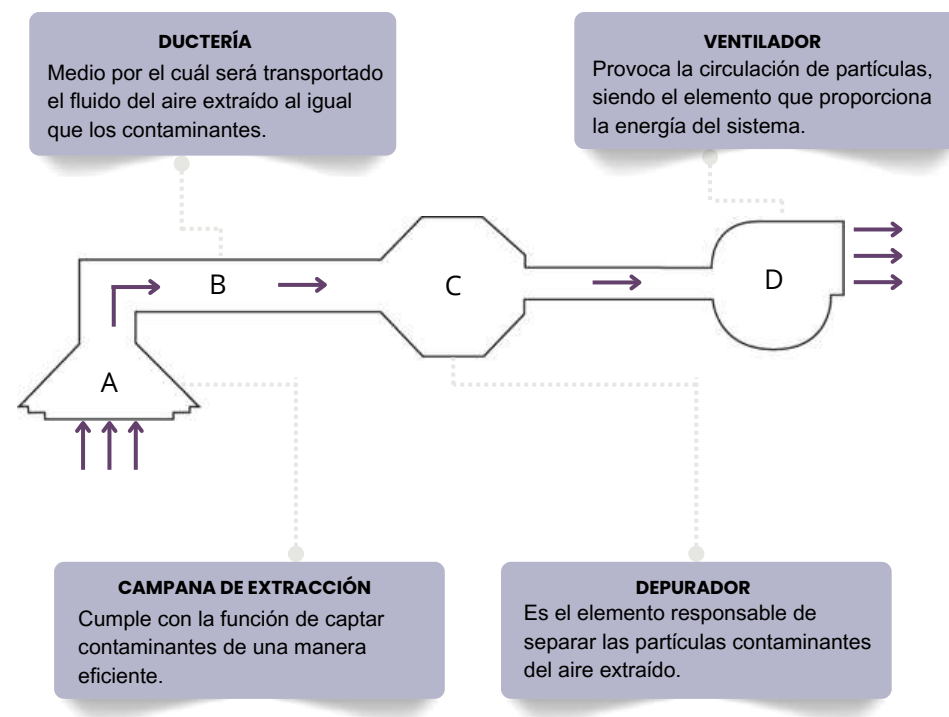


Figura 17. Diagrama de funcionamiento de un sistema de extracción.
Fuente: MCAT Especialistas en Ventilación Industrial

Dentro de este sistema de extracción, se ha incorporado un separador ciclónico, que es un mecanismo clave para separar las partículas de polvo del flujo de aire. Este utiliza la fuerza centrífuga generada por el movimiento circular del aire para hacer que las partículas se precipiten hacia las paredes del ciclón, donde luego son recolectadas en un contenedor. El aire limpio sigue su curso y es liberado al ambiente o pasa por un filtro adicional, si es necesario.

PARTES DE UN CICLÓN

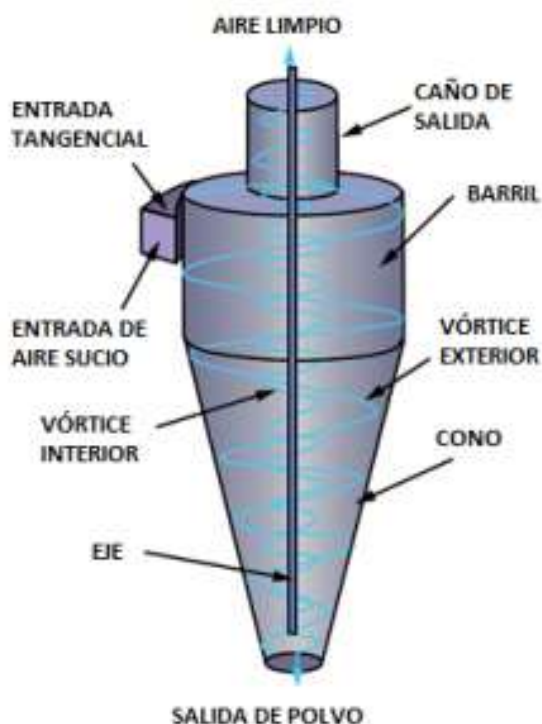


Figura 18. Partes de un ciclón. Fuente: Miller Spanish

FUNCIONAMIENTO DEL CICLÓN

A continuación se explicará la teoría de su funcionamiento, destacando los principios físicos que lo hacen posible.

Los ciclones son dispositivos empleados para remover partículas de una corriente gaseosa mediante la generación de una fuerza centrífuga. Según Bahamondes (2008), "los ciclones utilizan la inercia para remover las partículas de la corriente del gas. Generado por una fuerza centrífuga a la corriente de gas, normalmente en una cámara de forma cónica".

El gas entra al ciclón con un movimiento circular descendente cerca de la pared del tubo, hasta que en el fondo la dirección se invierte y asciende en espiral por el centro. En este proceso, "las partículas en la corriente del gas son forzadas hacia la pared del ciclón por la fuerza centrífuga del gas en rotación, pero se les opone la fuerza de arrastre del gas que pasa por el ciclón hacia la salida" (Bahamondes, 2008, p. 5).

Las partículas más grandes, al tener mayor inercia, alcanzan la pared y son recolectadas, mientras que las más pequeñas permanecen en la corriente de gas y salen junto con ella. Además, la gravedad favorece la sedimentación de las partículas capturadas en la tolva inferior. Finalmente, "el ciclón es esencialmente una cámara de sedimentación en que la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrífuga" (Bahamondes, 2008, p. 5).

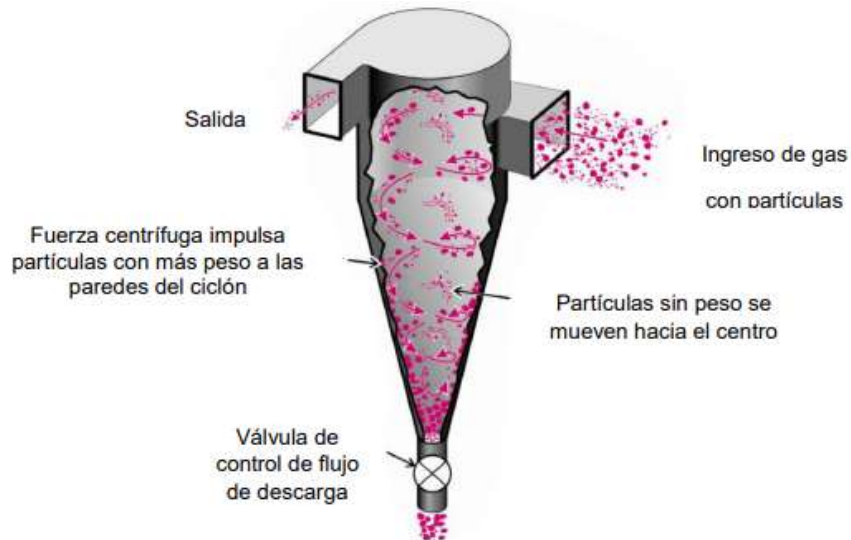


Figura 19. Principio de operación de un ciclón. Fuente: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

En la figura 20 se puede observar el movimiento de las partículas mayores hacia las paredes del ciclón debido a la fuerza centrífuga.

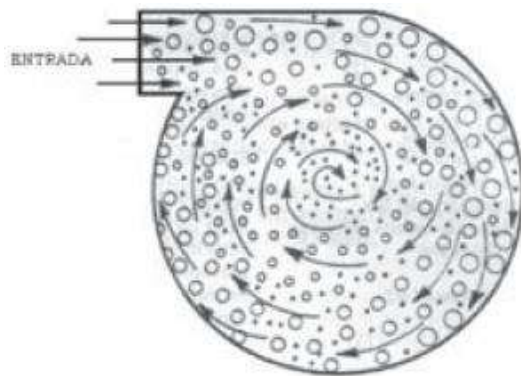


Figura 20. Mecanismos de colección de partículas en un ciclón. Fuente: Bahamondes Santos, J. L.

Los ciclones son uno de los métodos más económicos para la recolección de polvo o partículas finas. Su diseño es simple y no incluye partes móviles, lo que reduce la complejidad y facilita las operaciones de mantenimiento. Además, pueden fabricarse con una gran variedad de materiales y adaptarse para funcionar en condiciones de altas temperaturas.

En la figura 21 se puede ver que en un ciclón, la trayectoria del gas comprende un doble vórtice, en donde el gas dibuja una espiral descendente en el lado externo y ascendente en el lado interno.

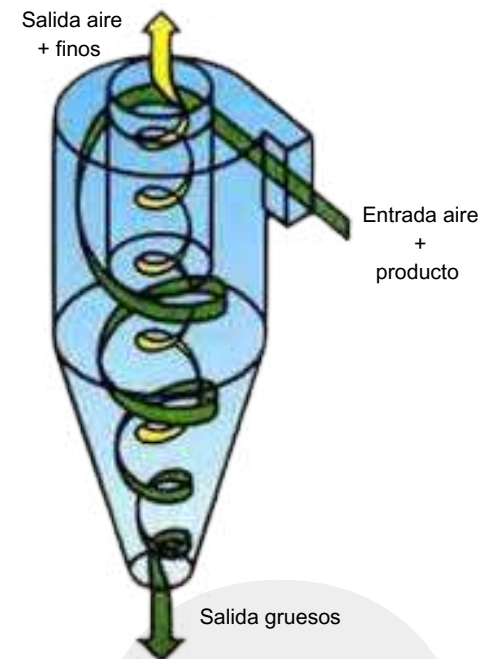


Figura 21. Vórtices en el ciclón. Fuente: Bahamondes Santos, J. L.

La capacidad de un ciclón para separar partículas del flujo de aire o gas, está influenciada por varios factores. Estos pueden aumentar o disminuir la efectividad del dispositivo dependiendo de cómo se ajustan durante su fabricación o funcionamiento.

A continuación, se detallan las principales variables que afectan el funcionamiento de los ciclones, tanto aquellas que mejoran como las aquellas que la reducen.

“La eficiencia de los ciclones generalmente crece con el aumento de:

- El tamaño de partícula y/o la densidad.
- La velocidad en el conducto de entrada.
- La longitud del cuerpo del ciclón.
- El número de revoluciones del gas en el ciclón,
- La proporción del diámetro del cuerpo del ciclón al diámetro del conducto de salida del gas,
- La carga de polvo
- El pulimento de la superficie de la pared interior del ciclón.

La eficiencia de los ciclones disminuirá con el aumento de:

- La viscosidad del gas.
- El diámetro del cuerpo.
- El diámetro de la salida del gas.
- El área del conducto de entrada del gas
- La densidad del gas.

Un factor común que contribuye a la disminución de eficiencias de control en los ciclones es el escape de aire en el conducto de salida del polvo”. (Bahamondes, 2008, p. 2)

A la hora de implementar un sistema de control de partículas, los ciclones se destacan por ser una de las soluciones más utilizadas en diversos sectores debido a su simplicidad y bajo costo. Sin embargo, presenta ventajas y desventajas.

Se detallan los principales aspectos positivos y negativos de los ciclones, los cuales deben ser considerados antes de optar por su uso en la separación de partículas.

VENTAJAS

- Bajos costos de capital.
- Falta de partes móviles, por lo tanto, pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación.
- Caída de presión relativamente baja, comparada con la cantidad de partículas removidas.
- Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción.
- Colección y disposición en seco.
- Requisitos de espacio relativamente pequeños.

DESVENTAJAS

- Eficiencias de colección de MP (materia particulada) relativamente bajas, particularmente para MP de tamaño menor a $10\text{ }\mu\text{m}$.
- No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes.
- Las unidades de alta efectividad pueden tener altas caídas de presión.

ANÁLISIS DE LAS PARTICULAS A REMOVER

Este es el primer paso del diseño del ciclón, es muy importante analizar las partículas que se desean separar del gas transportador porque de esto nos dirá si necesitamos un ciclón de alta eficiencia, alta capacidad o uno convencional.

CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS DE SÍLICE

Las partículas de sílice suelen tener un tamaño inferior a $5\text{ }\mu\text{m}$, lo que influye directamente en la capacidad de separación de un ciclón, ya que las partículas más pequeñas son más difíciles de capturar. Además, la densidad de la sílice, que generalmente es de alrededor de $2,330\text{ kg/m}^3$, juega un papel importante en el comportamiento de las partículas dentro del flujo de aire y en la efectividad del sistema de separación.

Dado que la sílice es altamente abrasiva, es fundamental considerar este factor al elegir los materiales de construcción del ciclón, con el fin de prevenir el desgaste prematuro del equipo.

TIPOS DE SEPARADORES CICLÓNICOS

A raíz de esto podemos concluir que los **ciclones convencionales** son efectivos para eliminar partículas más grandes (PST), pero su adecuado funcionamiento disminuye para partículas más finas, especialmente para PM2.5.

Los **ciclones de alta eficiencia** son los más efectivos para remover partículas de todos los tamaños, incluidas partículas finas como PM2.5.

Los **ciclones de alta capacidad**, aunque son efectivos para partículas grandes (PST), no son eficientes para remover partículas más pequeñas como PM10 y PM2.5

Por lo tanto, como las partículas de sílice suelen tener un tamaño inferior a 5 micrómetros, lo más adecuado sería utilizar un ciclón de alta efectividad, Ver anexo 13.0 ya que estos son capaces de remover partículas más finas con una capacidad de 20% a 70%, lo cual es mejor que los ciclones convencionales o de alta capacidad, que tienen una baja operatividad en este rango de tamaños.

En la gráfica se puede observar los intervalos de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones (Echeverri).

FAMILIA DE CICLONES	EFICIENCIA	DE REMOCIÓN	(%)
	PST	PM 10	PM 2.5
Alta eficiencia	80 - 99	60 - 95	20 - 70

Tabla 4. Intervalo de eficiencia de remoción para familias de ciclones de alta eficiencia. Fuente: Bahamondes Santos, J. L.

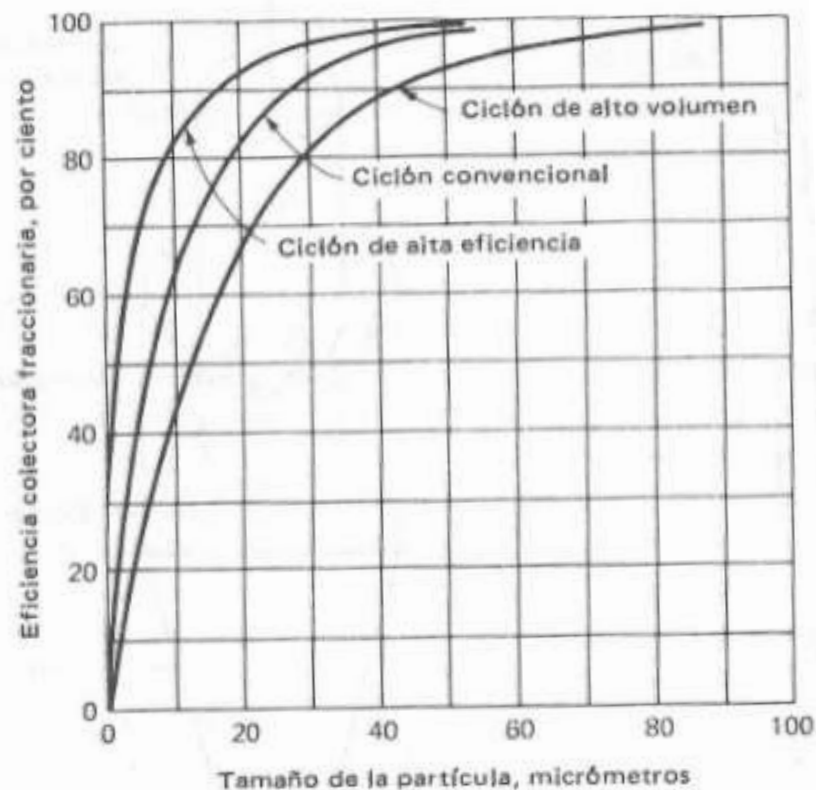


Figura 22. Intervalos de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones. Fuente: Echeverri

CICLONES COMO PRE-LIMPIADORES EN LA CAPTURA DE PARTÍCULAS

Generalmente, los ciclones por sí solos no son suficientes para cumplir con las normativas más estrictas en cuanto a la contaminación del aire. Sin embargo, desempeñan un rol importante como pre-limpiadores, ya que se utilizan para reducir la carga de materia particulada (MP) que llega a los dispositivos finales de captura

Como menciona Bahamondes (2008) “a los ciclones se los conoce como “pre-limpiadores”, debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de entrada de Materia Particulada (MP), a los dispositivos finales de captura, al remover las partículas abrasivas de mayor tamaño“. De esta manera, los ciclones eliminan las partículas más grandes y abrasivas del aire contaminado antes de que este llegue a los sistemas de filtración, lo que mejora el funcionamiento del sistema.

Es importante destacar que, para obtener una mayor productividad en la separación de partículas microscópicas, se recomienda utilizar un ciclón como pre-filtro debido a su bajo costo. Posteriormente, se puede implementar un filtro, el cual, aunque más costoso y delicado su mantenimiento, ofrece una capacidad superior para capturar partículas más finas.

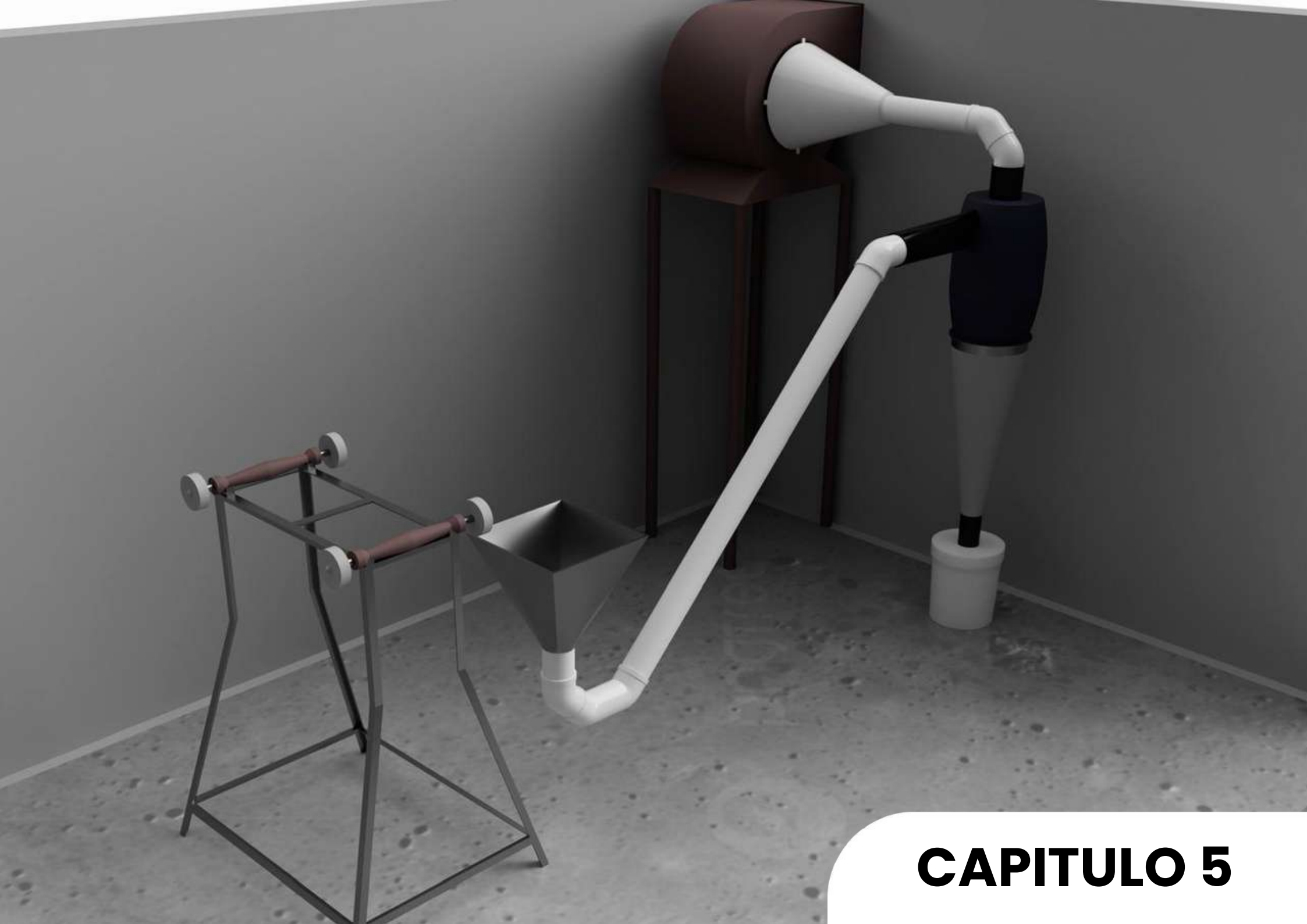
CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Para concluir este capítulo, podemos afirmar que la selección de un sistema de extracción y control de polvo es crucial para proteger la salud de los trabajadores y mantener un ambiente laboral seguro en industrias y talleres que manejan materiales peligrosos, como la sílice. En este capítulo se analizan diferentes tecnologías, destacando que cada tipo de extractor de polvo presenta ventajas y limitaciones que deben considerarse al momento de seleccionar alguno. Tener en cuenta factores como la capacidad de captura, el costo, la facilidad de mantenimiento y las características específicas del entorno de trabajo son determinantes en la elección del sistema adecuado.

En talleres domésticos y espacios de producción pequeños, los extractores de polvo de bajo costo, como los ciclones, son soluciones prácticas y accesibles. Estos dispositivos, además de proteger la salud de los trabajadores al reducir la exposición al polvo, mejoran la calidad del aire en el ambiente laboral y promueven una mayor productividad. Sin embargo, su implementación debe adaptarse a las necesidades del espacio y las prácticas operativas para maximizar su efectividad.

La combinación de sistemas de ventilación general y captación localizada resulta especialmente efectiva en el control de polvo en talleres de pulido. Cada enfoque tiene características específicas. Por ello, integrar ambos métodos puede generar un ambiente más seguro. Las propuestas iniciales, como los diseños de cabina y tubos de extracción, destacan la importancia de personalizar estas soluciones a los métodos y espacios de trabajo locales, asegurando su funcionalidad y adaptabilidad.

Finalmente, podemos resaltar la importancia de incorporar la retroalimentación de los trabajadores en el diseño e implementación de sistemas de control. Las observaciones y sugerencias aportadas por los operarios han permitido identificar áreas de mejora, orientando hacia soluciones prácticas y funcionales.



CAPITULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El capítulo final presenta los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, donde se incluyen esquemas que explican el funcionamiento de estos sistemas, resaltando la necesidad de implementar extractores de polvo y detallando los componentes esenciales para su desempeño.

Se presentaron propuestas de diseño para entender los requerimientos y el contexto en el que operan los trabajadores. Estos brindaron observaciones valiosas que permitieron ajustar cuál de las máquinas del relevamiento se ajustaba más a sus necesidades.

El capítulo plantea la necesidad de diseñar una solución accesible y económica para los talleres domésticos. A partir de los datos recolectados y el feedback recibido, se formulan recomendaciones y un manual de creación del dispositivo, para que los trabajadores puedan fabricarlo ellos mismos, económicamente, con insumos encontrados en el mercado. Asegurando el bienestar de los trabajadores y el cumplimiento de las normativas en relación a la salud y seguridad ocupacional.

CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio se centra en una habitación de 3 metros de ancho por 5 metros de largo y 2,4 metros de altura, que funciona como un taller. Allí se realizan actividades de pulido de piedras preciosas. En este espacio, se encuentra instalada una máquina con dos cabezales, para que un operario realice el pulido. El horario laboral es de lunes a viernes, de las 9:00 hasta las 18:00 horas, implicando una jornada laboral diaria de 9 horas y acumulando una exposición semanal considerable al polvo generado durante las tareas.

Este entorno presenta una concentración de partículas de polvo en suspensión significativa, ya que la operación continua de pulido produce residuos finos, como el polvo de sílice, que afectan la calidad del aire en el taller. La exposición prolongada que tienen los trabajadores aumenta la necesidad de un sistema de extracción que minimice la cantidad de polvo a las que están expuestos, de esta manera se protege la salud de los trabajadores.

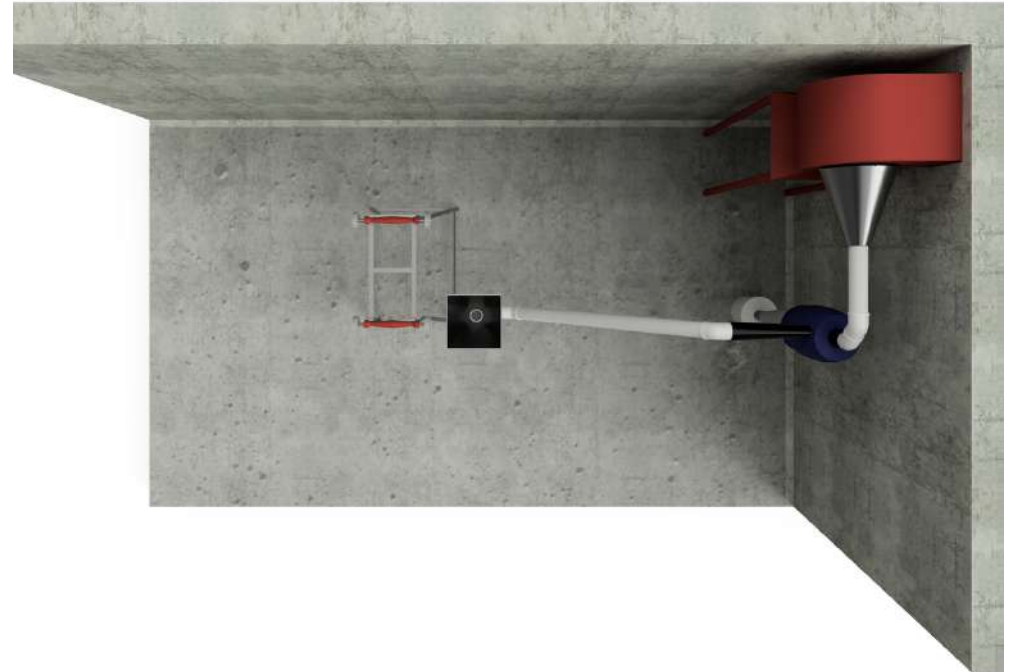


Figura 23. Diagrama del caso de estudio. Fuente: elaboración propia.

PROPUESTA FINAL

El sistema de extracción de polvo propuesto está diseñado específicamente para mitigar los riesgos asociados. Este sistema integra una serie de componentes claves que trabajan en conjunto para captar, conducir y separar las partículas de polvo garantizando un ambiente de trabajo más seguro para los operarios.

El diseño se fundamenta en capturar el contaminante directamente desde su punto de origen, maximizando el funcionamiento del sistema y minimizando la dispersión de partículas en el aire. “Siempre que ello sea posible, lo mejor es solucionar el problema de contaminación en el mismo punto donde se produce mediante la captación de los contaminantes lo más cerca posible de su fuente de emisión, antes de que se dispersen por la atmósfera del recinto y sea respirado por los operarios. Las aspiraciones localizadas pretenden mantener las sustancias molestas o nocivas en el nivel más bajo posible, evacuando directamente los contaminantes antes de que éstos sean diluidos” (Soler&Palau, s. f.)

Luego de identificar el punto de origen del contaminante, se selecciona un receptáculo, que funciona como el primer punto de contacto entre el contaminante y el sistema.

RECEPTÁCULO

El sistema de extracción localizada cuenta con un receptáculo de captura, seleccionado por su adecuado funcionamiento en la recolección del polvo en el punto de origen. Este componente permite dirigir y contener las partículas en suspensión, minimizando su dispersión en el ambiente de trabajo y reduciendo la exposición de los trabajadores a contaminantes.

Además del receptáculo planteado en el diseño, existen otras opciones de elementos que pueden incorporarse al sistema para cumplir la misma función, como campanas de captación o canalones de desagüe, los cuales pueden adaptarse según las necesidades del espacio y el tipo de contaminante a controlar.

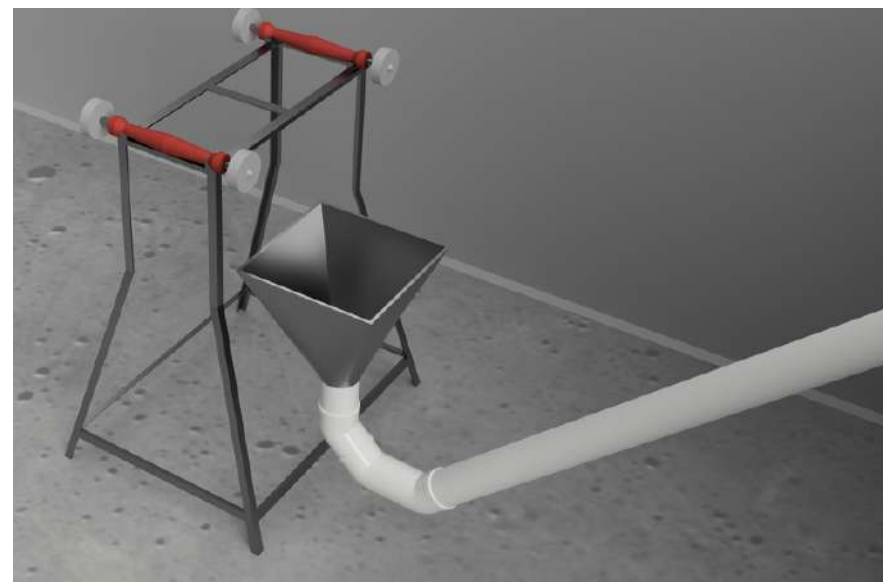


Figura 24. Receptáculo, componente del dispositivo. Fuente: elaboración propia.

MATERIALES Y DIMENSIONES

Para su fabricación se seleccionó chapa como material principal debido a sus propiedades de resistencia y durabilidad. A diferencia de otros materiales más económicos, la chapa es capaz de soportar las condiciones de uso continuo, evitando deformaciones y acumulación de residuos en sus superficies. Además, su acabado facilita las tareas de limpieza, lo que ayuda a mantener el sistema en óptimas condiciones de funcionamiento. Aunque el costo de la chapa es ligeramente superior al de otros materiales, su mayor durabilidad y capacidad para resistir el desgaste justifican esta inversión a largo plazo.

En cuanto a las dimensiones, fue diseñado con medidas específicas para ubicarse debajo del rebolo, el área donde se realiza el pulido de las piedras. Esta disposición permite que las partículas de polvo, que por su peso tienden a descender, sean capturadas de manera efectiva.

Al estar situado en el punto de mayor generación de polvo, se minimiza la dispersión de partículas en el ambiente de trabajo, mejorando así la eficacia del sistema de extracción y contribuyendo a un entorno más limpio y seguro para los operarios.

SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AIRE

Las tuberías utilizadas son de sección circular y el material de estos es PVC. “Los sistemas de extracción son construidos generalmente de tubería circular debido a que es más fuerte para un peso dado de material, es menos costoso y minimiza el asentamiento de partículas transportadas por el aire” (Cardona, 2020, p.18).

Para la selección del diámetro de la tubería, nos basamos en las dimensiones establecidas por el diámetro del ciclón. Además, la elección se realizó considerando las opciones disponibles en el mercado, seleccionando la que mejor se ajusta a los requerimientos del sistema, tubos de PVC de 100 mm de diámetro.

CODOS

El uso de codos es necesario para conectar las diferentes partes del sistema. Para su selección, es fundamental considerar los ángulos, priorizando aquellos que minimicen la pérdida de carga y optimicen el flujo de aire. Se deben evitar los codos de 90 grados, ya que generan una mayor resistencia y afectan la eficiencia del sistema de extracción. Ver anexo 14.0.

CICLÓN SEPARADOR DE PARTÍCULAS

PROCESO DE DISEÑO DEL CICLÓN

A través de la investigación realizada en el capítulo anterior, se selecciona un ciclón de entrada tangencial y descarga axial, para esto se tomaron algunas dimensiones ya establecidas que se mencionan en la tabla 5.

PARÁMETROS	VALOR
Diámetro del ciclón (D_c)	$< 1.0 \text{ m}$
Caída de presión	$< 2488.16 \text{ Pa}$
Relación de velocidades (V_i/V_s)	< 1.35
Velocidad de entrada	$15.2 - 27.4 \text{ m/s}$

Tabla 5. Parámetros establecidos para el diseño de un ciclón.
Fuente: Bahamondes Santos, J. L.

Se deben considerar algunos factores y debe cumplir todos los parámetros para que su diseño tenga la más alta eficiencia posible de separación de partículas sólidas del gas transportador.

Es fundamental identificar y analizar varios factores. Entre ellos, las dimensiones, la velocidad del flujo de aire, la caída de presión, y la densidad de las partículas son esenciales para definir el rendimiento del sistema de captura de partículas. La forma y tamaño del conducto de entrada, así como el material, también deben seleccionarse de acuerdo con las características del ambiente y los contaminantes a tratar. Considerar estos aspectos asegura la productividad del dispositivo.

DATOS RELEVANTES PARA EL DISEÑO DEL CICLÓN

DIMENSIONES DEL CICLÓN

“Se ha comprobado científicamente que el diámetro de salida del gas y altura del ciclón afectan directamente la eficiencia del mismo, una de las causas más comunes que afectan la eficiencia del ciclón es la fuga del gas hacia la salida de las partículas.” (Forkel, 2017, p. 14)

VELOCIDAD

“La velocidad tangencial es uno de los principales factores a considerar cuando se diseña un extractor ciclón, ella produce la fuerza centrífuga que afecta a las partículas que se quieren separar del gas, la gravedad no influye en la separación de las partículas, solamente en partículas de dimensiones muy grandes que se quieren separar del gas en ciclones de gran tamaño”. (Forkel, 2017, p. 8)

CAÍDA DE PRESIÓN

“Este es uno de los factores más importantes en el diseño del ciclón porque está directamente relacionada con la efectividad y la pérdida de energía del extractor, esta pérdida de presión se da por pérdidas en la entrada y salida del ciclón, pérdidas de energía cinética y por la fricción en el interior del ciclón, entre mayor es la capacidad del extractor mayor es la pérdida de presión y el consumo de energía se incrementa al incrementar la potencia del extractor de aire requerido para contrarrestar la pérdida de la presión, la caída de presión es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad de entrada”. (Forkel, 2017, p. 18)

DIMENSIONES DEL CICLÓN

“El diámetro del ciclón identifica la dimensión básica de diseño, todas las demás dimensiones simplemente son una proporción del diámetro del ciclón.” (Bahamondes, 2008, p. 27)

Un ciclón de diámetro más pequeño que funciona a una caída de presión fija alcanza la operatividad más alta.

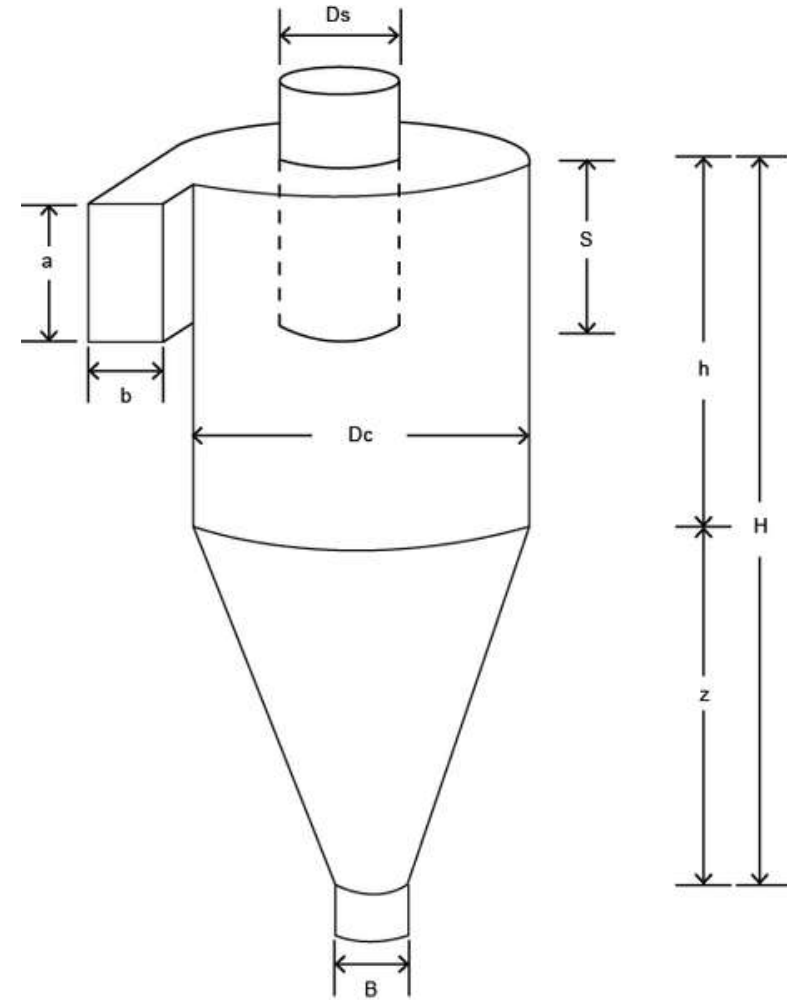


Figura 25. Diagrama de las dimensiones de un ciclón. Fuente: Echeverri

Como se mencionó anteriormente, los ciclones de alta eficiencia son los más adecuados para la remoción de partículas pequeñas.

Basándose en las proporciones de los ciclones de alta eficiencia (ver anexo 17.0) y en el diámetro del ciclón ($D_c = 0.26 \text{ m}$), las relaciones de diseño son:

- **Altura de entrada (a):** $a = 0.5 \times D_c$
- **Ancho de entrada (b):** $b = 0.2 \times D_c$
- **Altura de salida (S):** $S = 0.5 \times D_c$
- **Diámetro de salida (Ds):** $D_s = 0.5 \times D_c$
- **Altura de la parte cilíndrica (h):** $h = 1.5 \times D_c$
- **Altura de la parte cónica (z):** $z = 2.5 \times D_c$
- **Altura total del ciclón (H):** $H = 4.0 \times D_c$
- **Diámetro de salida de partículas (B):** $B = 0.375 \times D_c$

DIMENSIONES

- **Altura de entrada (a):** 100 mm
- **Ancho de entrada (b):** 52 mm
- **Altura de salida (S):** 100 mm
- **Diámetro de salida (Ds):** 130 mm
- **Altura de la parte cilíndrica (h):** 390 mm
- **Altura de la parte cónica (z):** 650 mm
- **Altura total del ciclón (H):** 1040 mm
- **Diámetro de salida de partículas (B):** 975 mm

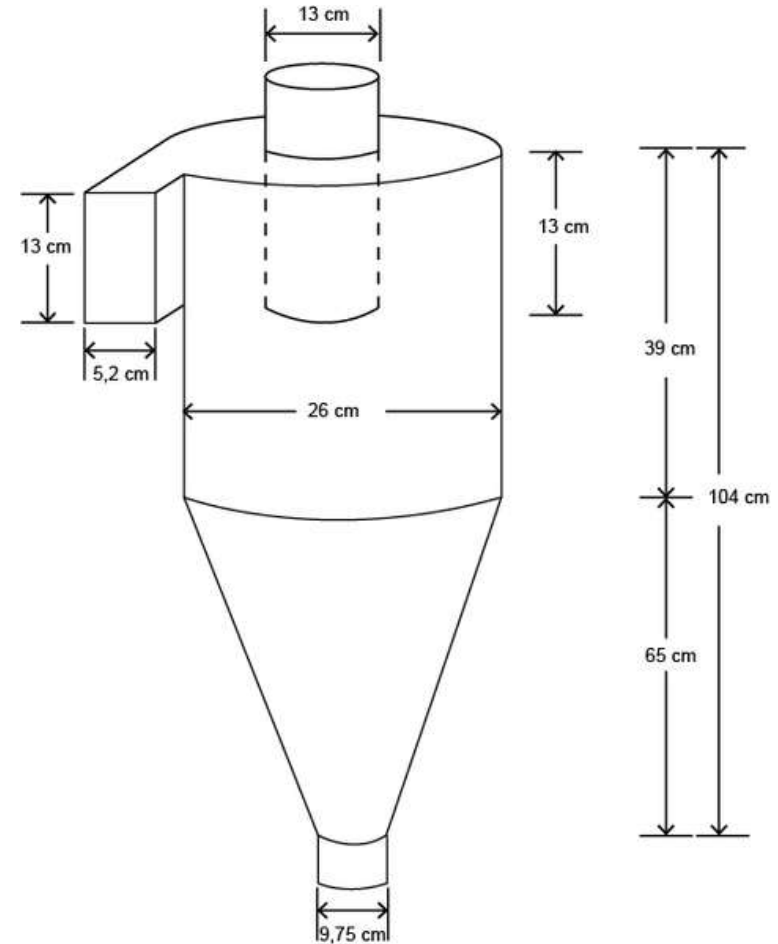


Figura 26. Esquema ciclón a diseñar Fuente: elaboración propia.

En el diseño del ciclón, si bien las dimensiones de cada componente están definidas de acuerdo con el diámetro seleccionado, algunas de sus partes pueden tener medidas aproximadas. Esto se debe a la necesidad de emplear materiales y elementos que estén disponibles en el mercado local. Por ejemplo, los tubos de PVC empleados en la fabricación de este dispositivo suelen tener medidas estándar que no siempre coinciden con las especificaciones teóricas del diseño.

Este enfoque de adaptación permite mantener la viabilidad del proyecto sin comprometer su funcionalidad. En casos como los de los tubos de entrada o salida, se buscará utilizar diámetros lo más cercanos posible a los especificados en el diseño. De esta manera se asegura que el sistema sea posible de construir con recursos locales.

FABRICACIÓN DEL CICLÓN

Se propone la fabricación de un ciclón utilizando materiales accesibles ([ver anexo 15.0](#)) como los conocidos tanques de plástico azul de polietileno de alta densidad, que suelen emplearse en la industria de alimentos, productos químicos, y para almacenamiento de líquidos. Este tipo de plástico es resistente y adecuado para soportar el flujo de partículas, además de ser relativamente económico y fácil de conseguir. Junto con el uso de tubos de PVC y otros componentes de plástico, esta elección de materiales aporta ventajas adicionales, como la ligereza, la resistencia a la corrosión, y la facilidad de manejo y mantenimiento.

La decisión de emplear estos materiales no solo facilita la construcción del ciclón, sino que también reduce el costo total del sistema y lo convierte en una opción práctica para talleres domésticos. Este enfoque asegura que los trabajadores puedan disponer de un dispositivo eficiente para la reducción del polvo de sílice sin requerir una gran inversión o conocimientos técnicos avanzados.

El PVC (policloruro de vinilo) pertenece a la familia de los termoplásticos, un grupo de materiales que se caracteriza por su capacidad de moldearse con calor y endurecerse al enfriarse sin perder sus propiedades. Esto los convierte en materiales altamente versátiles para diversas aplicaciones industriales y domésticas.

VENTILADOR

Se optó por un ventilador centrífugo debido a sus ventajas en sistemas de extracción de polvo, especialmente en aplicaciones donde se requiere mover aire con partículas en suspensión.

“Las instalaciones de ventilación por extracción localizada, VEL, utilizan habitualmente ventiladores centrífugos, debido a su capacidad para vencer elevadas pérdidas de carga y suministrar caudales de aire suficientemente generosos”. (Región de Murcia & Instituto de Seguridad y Salud laboral, 2007)

ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL CICLÓN

Para garantizar la estabilidad y correcto funcionamiento del ciclón, es necesario contar con una estructura de soporte adecuada. Sin embargo, el diseño específico de esta estructura no será desarrollado en detalle en este trabajo.

Consideramos que la construcción de la base es un aspecto flexible, que puede adaptarse a los materiales disponibles y a las capacidades de fabricación de cada usuario en su respectivo taller.

Debido a la variedad de enfoques posibles, se presentarán imágenes de diferentes estructuras que pueden servir como referencia. Estas opciones muestran ejemplos de soportes contruidos con materiales como acero, madera o perfiles metálicos, permitiendo que cada persona elija la solución más adecuada según sus necesidades.

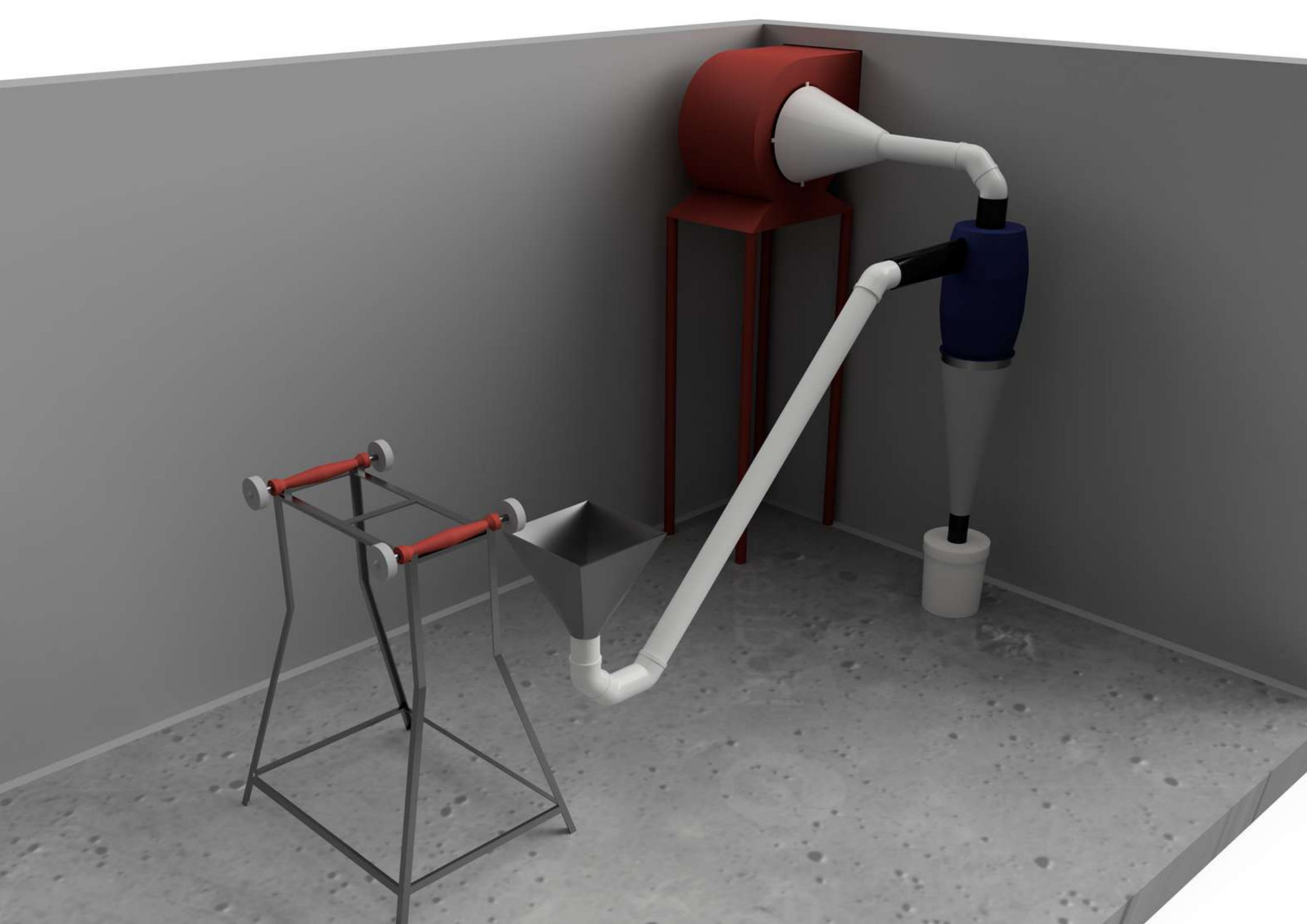


Figura 27. Estructura utilizada en ciclones.
Fuente: Altef Cyclone.



Figura 28. Diseño estructural de ciclones.
Fuente: LDX solutions.





ERGONOMIA

“... un puesto de trabajo incómodo daña el organismo, afecta la productividad y la calidad del trabajo, y provoca mal humor” Según Fernández (1995, citado en Prado León et al., 2005, p. 152).

Para garantizar un entorno de trabajo seguro y adecuado, se han evaluado distintos aspectos ergonómicos en el diseño del sistema.

Uno de los principales factores considerados es la **accesibilidad**. Ubicar los tubos hacia el piso reduce el riesgo de obstrucción visual y evita interferencias en el área de trabajo, permitiendo a los operadores una mejor visión de su entorno y mayor libertad de movimiento.

Otro aspecto crítico es la **exposición al ruido generado por el ventilador**. La exposición continua a este tipo de ruido durante una jornada laboral de 8 horas diarias, 5 días a la semana, puede incrementar el riesgo de lesiones auditivas y estrés laboral. Para reducir estos efectos, se propone el uso de materiales aislantes, para reducir el impacto sonoro sobre los trabajadores.

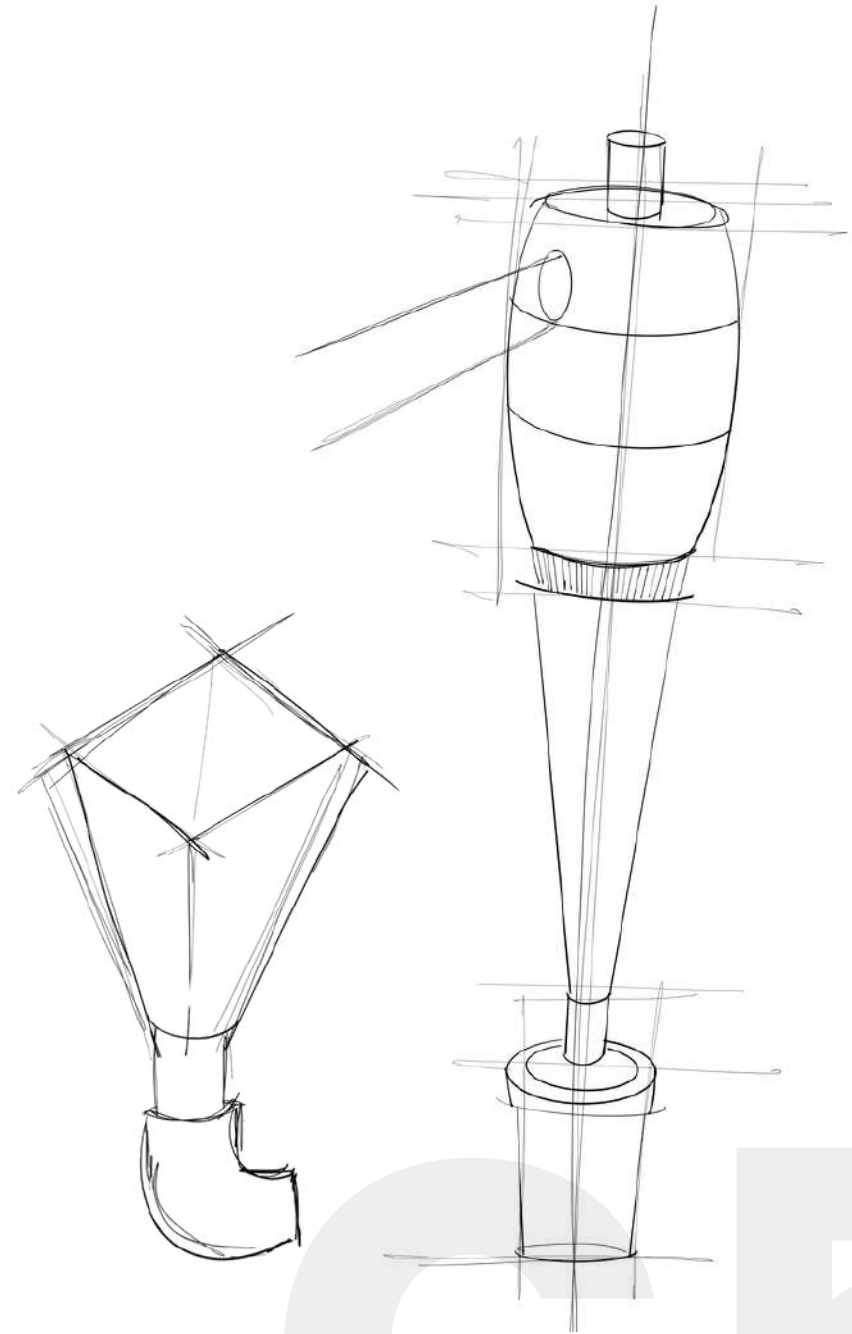
El diseño del dispositivo permite al operador trabajar tanto de pie como sentado, según sus preferencias. ...“el mejor puesto de trabajo es aquel que tenga flexibilidad de postura. Por lo tanto, es deseable un puesto de trabajo que pueda permitir al operario laborar tanto sentado como de pie, ya que reduce la fatiga asociada con las posturas estáticas” (Mondelo et al., 1999, p. 25)

Al estar sentado, el trabajador puede ubicar una silla y colocar las piernas abiertas, quedando el receptáculo de recolección en el medio, lo que facilita el proceso de pulido de las piedras sin interferencias. Esta versatilidad en el diseño se adapta a las diferentes posturas de trabajo, asegurando comodidad y facilidad de uso durante las tareas.

PRUEBAS CON PROTOTIPO

Para evaluar la efectividad del dispositivo propuesto, se llevaron a cabo una serie de pruebas con el prototipo de este en entornos de trabajo. Estas pruebas permitieron analizar su desempeño en términos de funcionamiento en la recolección de polvo de sílice, facilidad de uso e impacto en la ergonomía del trabajador.

A partir de los resultados obtenidos, se presentan una serie de conclusiones sobre el rendimiento del dispositivo, así como recomendaciones para optimizar su funcionamiento y maximizar su impacto en la seguridad laboral de los trabajadores expuestos a estas partículas.



PRIMERA PRUEBA



PRIMERA PRUEBA

La primera prueba consistió en la instalación de una campana cónica de 700 mm de diámetro en la base, 700 mm de altura y una abertura superior de 100 mm de diámetro. Los elementos se conectaron mediante tubos de PVC y curvas de 45°, lo que inicialmente planteó algunos inconvenientes. En primer lugar, la falta de altura en el lugar de prueba obligó a instalar la campana a un nivel más bajo del óptimo, lo que obstruía la visión de los trabajadores al momento de pulir las piedras. Además, si bien el uso de PVC fue adecuado para el prototipo, la elección de PVC transparente no resultó la mejor opción.

Otro desafío encontrado fue la necesidad de utilizar "embudos" para conectar los caños a los diferentes componentes, lo que generó pérdidas de efectividad en la turbina y redujo la capacidad de recolección de polvo. Asimismo, se observó que las partículas de sílice son relativamente pesadas, por lo que al momento de pulir las piedras estas tienden a descender. Esto evidenció que la ubicación de la campana en la parte superior no era el método más adecuado para la recolección del polvo, ya que gran parte de las partículas no eran capturadas eficientemente.

Otro aspecto importante identificado en las pruebas fue la ubicación del ciclón dentro del sistema. Se comprobó que colocar el ciclón después de la turbina reduce significativamente su eficiencia, ya que en esa disposición las partículas ya han pasado a través del ventilador, lo que puede generar desgaste en la turbina y disminuir la capacidad de separación del ciclón. Para este tipo de contaminante. Por lo tanto, se concluye que para maximizar su efectividad, el ciclón debe estar ubicado antes de la turbina, permitiendo una mejor captación de partículas y evitando daños en el equipo.

A partir de estos resultados, se realizaron ajustes en el diseño, optimizando la distribución de los elementos y evitando el uso de piezas reductoras de diámetro a la salida de la turbina que afectan la eficiencia del flujo de aire.

[CLIC AQUÍ PARA VER VIDEO](#)

SEGUNDA PRUEBA



SEGUNDA PRUEBA

En esta segunda prueba, y teniendo en cuenta los aspectos identificados en la prueba anterior, realizamos cambios en la disposición de los componentes para mejorar la funcionalidad del sistema de recolección de polvo. Se incorporó un receptáculo como elemento de captura del polvo en combinación con la extracción de la turbina. La conexión se realizó nuevamente con tubos de PVC y curvas de 45°, pero con la diferencia de que en esta prueba se colocó el ciclón antes de la turbina. Esta modificación resultó ser efectiva, ya que permitió una recolección más eficiente de las partículas de polvo en el momento de pulir la piedra. Se observó que las partículas más pesadas quedaron atrapadas en el recipiente de recolección, mientras que las partículas más finas fueron arrastradas por el flujo de aire y expulsadas a través del sistema de extracción.

Otro factor que contribuyó a la mejora del sistema fue la eliminación de elementos en la salida de la turbina. Esto incrementó la fuerza de extracción, logrando captar una mayor cantidad de polvo y reduciendo la dispersión en el ambiente de trabajo.

Durante la prueba también se observó que, al ingresar al ciclón, el polvo tendía a adherirse a las paredes internas de la parte cónica y a acumularse en ciertos pliegues del material.

Como el prototipo fue construido en PVC transparente, esto no representó un problema en la prueba; sin embargo, para su implementación en un uso continuo, se recomienda fabricarlo con un material más resistente, como chapa, para evitar deformaciones y acumulación de polvo en zonas no deseadas.

Como recomendación adicional, si el sistema se implementa en talleres con varias máquinas en funcionamiento simultáneo, se sugiere utilizar un conducto de mayor diámetro. No obstante, en esta prueba se constató que el caño de 100 mm utilizado para un solo extremo de la pulidora fue suficiente para garantizar una buena efectividad del sistema.

Por lo tanto, la disposición del ciclón antes de la turbina y la eliminación de restricciones en la salida de la turbina resultaron ser claves para mejorar la eficiencia del sistema. Los ajustes realizados permitieron una mayor captación de polvo, reduciendo su dispersión en el ambiente y contribuyendo a mejorar la seguridad en el área de trabajo.

[CLIC AQUÍ PARA VER VIDEO](#)

EVALUACIÓN DEL SISTEMA

Para evaluar el rendimiento del sistema de extracción de polvo, se realizaron pruebas utilizando placas de Petri en dos instancias: una sin el sistema de extracción y otra con el sistema en funcionamiento. A través de esta comparación, se busca analizar la cantidad de polvo acumulado en cada caso y determinar el impacto del dispositivo en la reducción de partículas en suspensión.

Ambas placas de Petri fueron colocadas en el mismo lugar, sobre el suelo, y expuestas durante dos minutos de pulido.

La figura 29 revela una mayor concentración de partículas cuando no se utilizó el sistema, evidenciando la cantidad de polvo en suspensión. Por otro lado, la figura 30 muestra una gran reducción de partículas gracias al funcionamiento del sistema, lo que indica su rendimiento adecuado en la captación de polvo y la mejora en la calidad del aire.

Este experimento demuestra la importancia de contar con un sistema de extracción capaz de minimizar la exposición al polvo y mejorar las condiciones laborales.



Figura 29. Polvo recolectado sin el sistema. Fuente: Elaboración propia

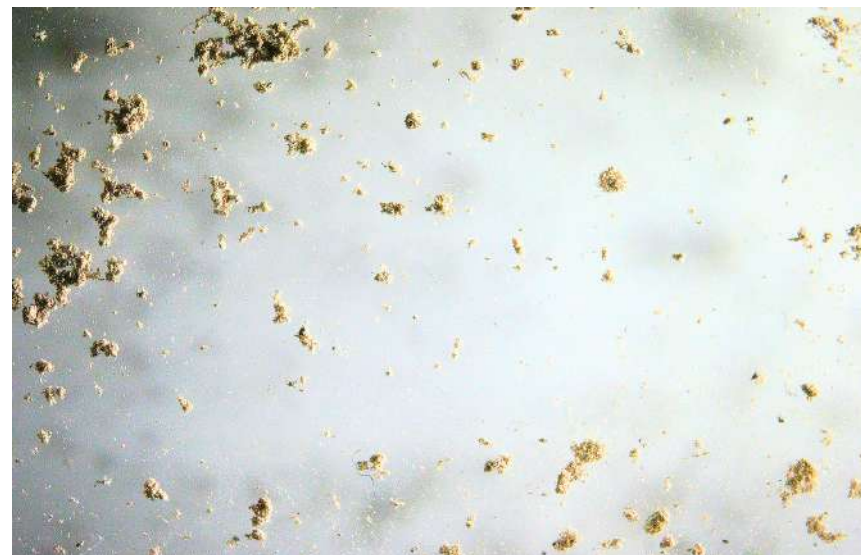


Figura 30. Polvo recolectado con el sistema. Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES FINALES

Abordando las hipótesis planteadas, se llevó a cabo un análisis de las tecnologías de extracción de polvo utilizadas en la industria metalúrgica y de fabricación, identificando las características de los sistemas de ventilación con aspiración localizada. En base a esto se confirmó que estos son ampliamente utilizados debido a su adaptación en la captura de partículas en el punto de generación, minimizando su dispersión en el ambiente laboral.

Sin embargo, se evidenció que los talleres domésticos de Artigas presentan limitaciones económicas y de espacio que dificultan la adopción de estos sistemas industriales. En respuesta a esta problemática, se investigaron soluciones más económicas y accesibles que pudieran ser implementadas en este contexto. Los resultados obtenidos indicaron que la simplificación de las características, junto con la selección de materiales alternativos, permite reducir los costos de fabricación sin comprometer significativamente la calidad del sistema.

Las pruebas realizadas permitieron evaluar que la reubicación de los componentes mejoró el funcionamiento del sistema, optimizando su desempeño en la captura de partículas y su adaptación a las condiciones del entorno.

Por otro lado se concluye que, parte de la selección de materiales del prototipo fue incorrecta. Se observó acumulación de partículas en el ciclón de PVC, es por esto que se sugiere el uso de materiales más resistentes para mayor durabilidad.

En términos de accesibilidad, se logró el objetivo de diseñar un prototipo que puede ser construido por los propios trabajadores a partir de un manual sencillo, adaptando las características más relevantes de las tecnologías industriales a las necesidades específicas de los talleres. Esto representa un avance significativo hacia la democratización de los sistemas de extracción de polvo en entornos con recursos limitados.

Por último, se destaca el rol que pueden desempeñar las empresas más grandes del sector en la mejora de las condiciones laborales en talleres tercerizados. A través de programas de apoyo e inversión en tecnología.

Para finalizar, se concluye que, lo obtenido proporciona una base sólida para futuras mejoras y puede servir como referencia para que los propios trabajadores desarrollen y optimicen sus sistemas de extracción de acuerdo con sus necesidades particulares. No obstante, este es solo el inicio de un proceso de transformación hacia mejores condiciones laborales para estos trabajadores, y futuras investigaciones serán esenciales para seguir avanzando.

Además de resultados técnicos alcanzados, esta experiencia permitió crecer tanto personal como profesionalmente. A través de una visión del diseño, se lograron soluciones que responden a las necesidades reales. Enfrentar realidades desconocidas llevó a comprender mejor las dificultades que atraviesan los trabajadores en sus talleres y a valorar el impacto de alternativas accesibles en su día a día.

Se siente una profunda satisfacción al saber que el esfuerzo puede contribuir a mejorar su calidad de vida y seguridad laboral. Este aprendizaje motiva a seguir investigando y generando propuestas que marquen una diferencia real en una comunidad.

FUTURAS INVESTIGACIONES

Esta investigación es un primer paso en el tema, que abre la puerta para seguir desarrollándolo con la ayuda de otros profesionales y obtener mejores resultados. Se presentó el problema y una solución inicial, dejando espacio para desarrollos futuros e investigaciones.

Para una futura mejora, se recomienda explorar la implementación de un sistema de inyección de agua en el ciclón para facilitar su limpieza y optimizar su funcionamiento.

A su vez, se sugiere estudiar las uniones de las partes del sistema, asegurándose de que sean adecuadas y prevengan la acumulación de polvo.

Por otra parte, una interrogante es qué sucede con el polvo capturado por el sistema de extracción. Sería relevante estudiar los posibles métodos de reciclaje o reutilización, y su impacto ambiental si no es tratado adecuadamente.

También, se podría profundizar en la utilización de filtros que optimicen la captación de partículas sin comprometer la operatividad del sistema.

Para futuras mejoras, se tendría que evaluar si el receptáculo del sistema funcionaría para ambos extremos de la pulidora de manera simultánea, colocándolo en el medio de ambas, o si cada extremo de la máquina de pulido necesita un receptáculo independiente al momento de estar trabajando.

Por último, queda como una posible investigación a evaluar si el diseño del receptáculo interfiere negativamente en la comodidad de los trabajadores cuando permanecen sentados durante toda la jornada laboral.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ágata_(mineral). (s. f.).
https://www.quimica.es/enciclopedia/%C3%81gata_%28mineral%29.html#google_vignette
- Gobierno de España, Fundación laboral de la construcción, & Fundación estatal para la prevención de riesgos laborales. (s. f.). *Guía de buenas prácticas para la eliminación de los riesgos producidos por la sílice cristalina respirable en las obras de construcción*.
<https://www.lineaprevencion.com/uploads/lineaprevencion/contenidos/files/guia-sobre-la-silice-cristalina-respirable.pdf>
- *GUÍA DE ACTUACIÓN y DIAGNÓSTICO DE ENFERMEDADES PROFESIONALES*. (2018). 07 NEUMOCONIOSIS LABORAL.
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_de_actuacion_y_diagnostico_-_neumoconiosis_laboral_0.pdf
- *Enfermedades pulmonares intersticiales difusas*. (s. f.). M.A. Juretschke Moragues, B. Jara Chinarro.
https://www.neumomadrid.org/wp-content/uploads/monogxii_6._neumoconiosis.pdf
- Dirección de Estudios Económicos. (2019). EL INTERIOR INDUSTRIAL: ARTIGAS. <https://www.ciu.com.uy/wp-content/uploads/2022/09/el-interior-industrial-artigas-2019.pdf>
- NEPSI | Good Practice Guide. (s. f.). <https://guide.nepsi.eu/>
- García, J. (2023, 9 marzo). Proceso de lijado. OASA Norte (OASA Tijuana).
<https://www.oasanorte.com/blogs/blog/proceso-de-lijado>
- Altahona, A. A. U., & Gutierrez, C. E. G. P. (2001). Diseño y construcción de un sistema de extracción, separación y recolección del polvillo de piedras trituradas para la empresa Corpisos S.A [Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería Mecánica Cartagena de Indias].
<https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/597/0000620.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio del Trabajo y Previsión social. (s. f.). Trabajos con exposición a la sílice riesgos críticos. Instituto de Seguridad Laboral. <https://www.isl.gob.cl/wp-content/uploads/009-Ficha-Exposicion-Silice.pdf>
- Amatista. (s. f.).
<https://www.quimica.es/enciclopedia/Amatista.html>
- Dinamige - División Geología. (2007). PROYECTO AGATAS y AMATISTAS. https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/publicaciones/01_Reporte%20Proyecto%20%C3%81gatas%20y%20Amatistas%20-Fase%20I.pdf
- Instituto de Salud Pública. (2016). EXPOSICIÓN LABORAL a SÍLICE LIBRE CRISTALINA.
<https://www.ispch.cl/sites/default/files/Nota%20T%C3%A9cnica%20N%C2%B0%2039%20Exposici%C3%B3n%20Laboral%20a%20S%C3%ADlice%20Libre%20Cristalina.pdf>
- Cernuschi, F. C. (2014). Minería en Uruguay. Materias primas, minería y reciclaje en el mundo. En Uruguay Ciencia.
https://www.uruguay-ciencia.com/articulos/UC18/UCN18_Mineria.pdf

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Filtro 7093 (P100) con medio rostro o rostro completo ficha técnica. (s. f.). 3M.
<https://multimedia.3m.com/mws/media/947310O/3m-prot-resp-reut-filtro-7093.pdf>
- Silicosis en trabajadores de laboratorios dentales. Una ocupación de riesgo. (2010). Revista Medica del Uruguay, 26.
<http://www.scielo.edu.uy/pdf/rmu/v26n2/v26n2a05.pdf>
- Samuelle, J. (2023, 21 octubre). De sibarita a liderar en la exportación de amatistas y ágatas, la historia de Carlos. El Observador. <https://www.elobservador.com.uy/nota/de-sibarita-a-liderar-en-la-exportacion-de-amatistas-y-agatas-la-historia-de-carlos-2023101914500#:~:text=Artigas%20tiene%20entre%20sus%20riquezas,de%20unos%202.000%20empleos%20directos>
- Gil, P. J. G. P. (2013). La Silicosis en el ámbito laboral: Medidas de prevención y su consideración como enfermedad profesional. [Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales, Universidad Pública de Navarra].
<https://core.ac.uk/download/pdf/13251993.pdf>
- Guerra, P. G. G., Viera, D. V., Beltrán, D. B., & Bonilla, S. B. (2021). Seguridad industrial y capacitación: un enfoque preventivo de salud laboral.
<https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/2224/1/Libro%20Seguridad%20Industrial.pdf>
- Ley: Declaración de la Ciudad de Artigas “Capital Nacional de las piedras preciosas y semipreciosas, Amatistas y Ágatas, N.º 19238, (2014). Uruguay.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (s. f.). Manual de Procedimientos de prevención de Riesgos Laborales.
https://www.insst.es/documents/94886/455702/Manual_procedimientos.pdf/7a5ca0ee-1845-40b8-9a2f-3143e283f92c
- Flores, D. E. F. C. (2023). Eficacia de la implementación de un extractor para la reducción de la exposición a polvo respirable en la actividad de corte de concreto en una empresa del sector de construcción civil – Arequipa [Universidad Tecnológica del Perú]. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/8164>
- Estudio de prevalencia de silicosis en una fábrica de vidrios. (1989). Revista Medica del Uruguay,
<https://revista.rmu.org.uy/public/journals/2001-1974/articles/1989v2/art5.pdf>
- Decreto: Nombre del Decreto, N.º del Decreto, Artículo N.º (año). Nombre del país.
- Guzmán, R. R. (2021, 6 mayo). Partes de un colector de polvo. <https://www.linkedin.com/pulse/partes-de-un-colector-polvo-ricardo-ram%C3%ADrez-guzm%C3%A1n/>
- ARGOS | EducaMadrid. (n.d.).
<https://www.educa2.madrid.org/web/argos/inicio/-/visor/silicosis>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Macrofilter. (2024, 5 enero). ¿Que se debe tener en cuenta para escoger un colector de polvo? Macrofilter®. https://filtrosindustrialesmacrofilter.com/que-se-debe-tener-en-cuenta-para-escoger-un-colector-de-polvo/?srsltid=AfmBOoq34DvSQJrQlcq0rYAOAxILssqp1M--mc6HMILB2i7CnYPXY02_
- Industrial, M. E. E. V. (2022, 2 agosto). ¿En qué consiste un sistema de extracción localizada? <https://www.linkedin.com/pulse/en-qu%C3%A9-consiste-un-sistema-de-extracci%C3%B3n-localizada-/>
- Diseño y construcción de un separador ciclónico tipo académico. (s. f.). CORE Reader. <https://core.ac.uk/reader/287169940>
- Procequip, & Procequip. (2023, 28 noviembre). 5 partes principales de un sistema de extracción industrial - PROCEQUIP. PROCEQUIP - Soluciones en Filtración de Aire Industrial. <https://www.colectoresindustriales.mx/blog/partes-sistema-extraccion-industrial/>
- Bahamondes, J. L. B. S. (2008). Diseño y construcción de un separador ciclónico para la industria naval [Tesis para optar al Título de: Ingeniero Naval, Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcib151d/doc/bmfcib151d.pdf>
- Soler&Palau. (s. f.). Manual práctico de ventilación. <https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mven/Capitulo%20%20Manual%20de%20Ventilacion.pdf>
- Márquez, A. A. M. Q., & Ulloa, J. P. U. M. (2018). Diseño de un sistema de extracción de polvo y viruta de madera para la carpintería de la Fundación Salesiana «Paces» [Título de Ingeniero Mecánico, Universidad politécnica Salesiana sede cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16106/1/UPS-CT007799.pdf>
- Echeverri, C. A. E. L. (2006). Diseño óptimo de ciclones. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. https://www.researchgate.net/publication/262467595_Disenio_optimo_de_ciclones
- Arias Llorenty, J. (S.N). Auditoria al sistema de desempolvado del área de trituración de caliza en la planta Cerro Blanco de Holcim Ecuador S.A. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/5531>.
- Borelli, D. Empresaria china tomando videos de las amatistas de Artigas. EL PAIS. <https://www.elpais.com.uy/que-pasa/industria-millonaria-de-las-amatistas-crece-en-artigas-y-llegan-chinos-a-comprar-por-propiedades-milagrosas>
- Miller Spanish. (2024). Esquema de un ciclón separador de partículas. Miller Spanish. <https://millerspanish.com/blog/ciclones-y-sus-valvulas-rotativas-222>
- Cecala, A. (s.f.). Principio de operación de un ciclón. En Dust control handbook for industrial minerals (p. 32). National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bahamondes Santos, J. L. (2008). Movimiento de las partículas. En Diseño y construcción de un separador ciclónico para la industria naval (p. 6). Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcib151d/doc/bmfcib151d.pdf>
- Bahamondes Santos, J. L. (2008). Vórtices en el ciclón. En Diseño y construcción de un separador ciclónico para la industria naval (p. 7). Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcib151d/doc/bmfcib151d.pdf>
- Bahamondes Santos, J. L. (2008). Intervalo de eficiencia de remoción para familias de ciclones de alta eficiencia. En Diseño y construcción de un separador ciclónico para la industria naval (p. 26). Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcib151d/doc/bmfcib151d.pdf>
- Echeverri, A. (2006). Intervalos de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones. En Diseño de ciclones. <https://prezi.com/ggitcdqqrkis/disenio-de-ciclones>
- Revista de Psicodidáctica. (2002). Introducción A la Metodología de Investigación Cualitativa, Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/175/17501402.pdf>.
- Región de Murcia & Instituto de Seguridad y Salud laboral. (2007). Ventilación por extracción localizada, VEL. <https://issl.carm.es/wp-content/uploads/47678-FT-2.pdf>
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2016). OSHA Method ID-142: Crystalline Silica (Quartz and Cristobalite) (Version 4.0). Salt Lake Technical Center, Industrial Hygiene Chemistry Division.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2003). NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition: Silica, crystalline, by XRD (Method 7500, Issue 4). U.S. Department of Health and Human Services.
- Prado León, L. R., Ávila Chaurand, R., & Herrera Lugo, E. (2005). Factores ergonómicos en el diseño: Antropometría. Universidad de Guadalajara. ISBN 970-27-0759-5.
- Mondelo, P. R., Gregori, E., Blasco, J., & Barrau, P. (1999). Ergonomía 3: Diseño de puestos de trabajo (2ª ed.). Edicions UPC.
- Ajansi, N. D. R. (s. f.). Ciclones y sus válvulas rotativas. <https://millerspanish.com/blog/ciclones-y-sus-valvulas-rotativas-222>
- Instituto de Salud Pública de Chile (ISPCH). (s.f.). Exposición laboral a sílice libre cristalina (Nota Técnica N° 39). Recuperado de <https://www.ispch.cl/sites/default/files/Nota%20Técnica%20N°%2039%20Exposición%20Laboral%20a%20Sílice%20Libre%20Cristalina.pdf>.
- Forkel, E. F. F. R. (2018). Propuesta de diseño para un extractor tipo ciclón para la Industria metalúrgica de materiales no ferrosos en servicio Industrial Ramirez [Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de ingeniería]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8642/1/Ewald%20Ferdinand%20Forkel%20Ramirez.pdf>



ANEXOS

Anexo 0.0:

Esquema para el Diseño de Sistemas de Extracción de Polvo

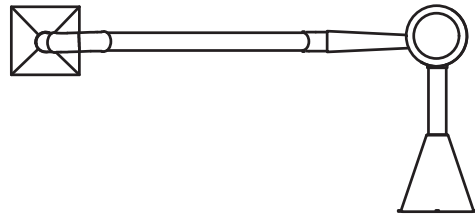


Figura. Esquema proceso de diseño, Fuente: elaboración propia

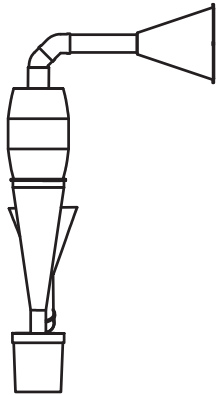
Anexo 1.0:

Láminas técnicas

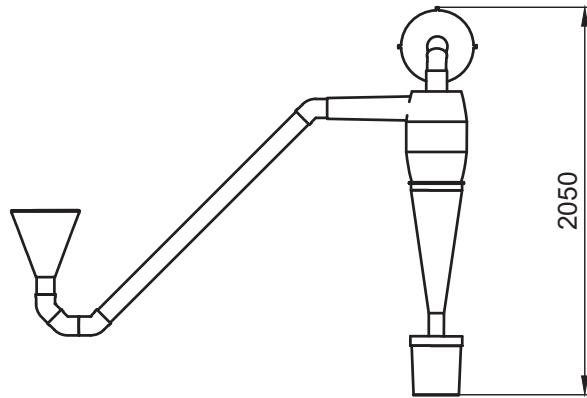
En esta sección se presentan las láminas técnicas correspondientes a la propuesta desarrollada. Cada lámina contiene información sobre dimensiones, materiales y especificaciones técnicas.



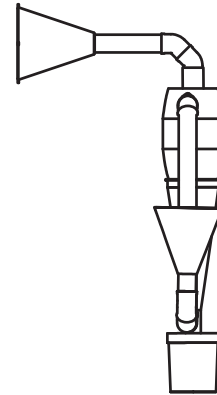
Vista Inferior



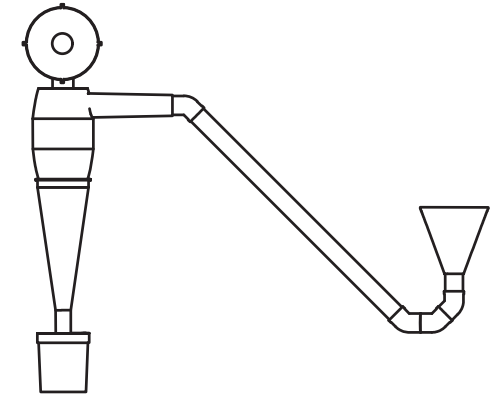
Vista Lateral Der.



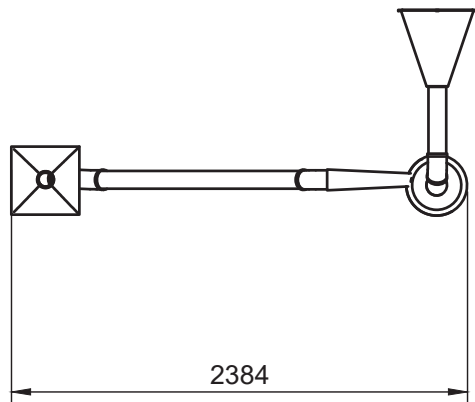
Vista Frontal



Vista Lateral Izq.



Vista Posterior



Vista Superior

Propietario legal:  Escuela Universitaria Centro de Diseño  Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UDELAR  UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY	Tipo de documento: Especificación técnica		TDG - 2025 -			
	Proyecto Ciclón Sistema vistas generales		Depto responsable: Dibujo técnico		Estado del documento Publicado	
			Aprobado por:	Escala 1.40	Unidades mm	
	Creado por: María Texeira, Belén Palermo		Referente: Pedro Santoro	Rev.: A	Fecha de edición 23/02/2025	Hoja 1/8

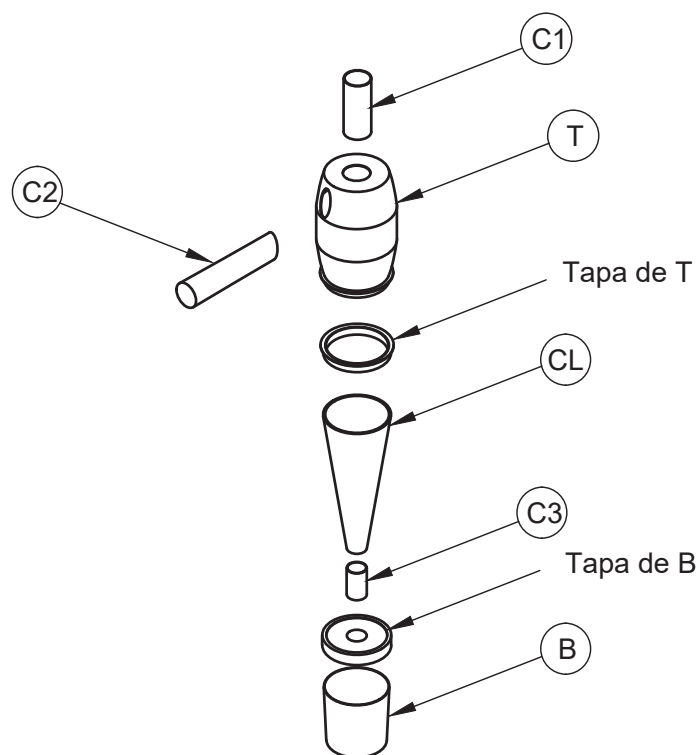


TABLA DE COMPONENTE

Nombre	Denominación	Material	Cantidad
Cono ciclón	CL	Lámina de chapa	1

TABLA DE INSUMOS

Nombre	Denominación	Material	Cantidad
Tubo salida	C1	PVC	1
Tanque	T	Polietileno de alta densidad	1
Tubo salida polvo	C3	PVC	1
Recipiente contenedor	B	Plástico	1
Tubo entrada	C2	PVC	1

Propietario legal:



Escuela Universitaria
Centro de Diseño



Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo
UDELAR



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Tipo de documento:
Especificación técnica

Proyecto Ciclón
Explotada sub conjunto 1

Creado por:
María Texeira, Belén Palermo

TDG - 2025 -

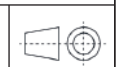
Depto responsable:
Dibujo técnico

Estado del documento
Publicado

Aprobado por:

Escala
1.30

Unidades
mm



Referente:
Pedro Santoro

Rev.:
A

Fecha de edición
23/02/2025

Hoja
2/8

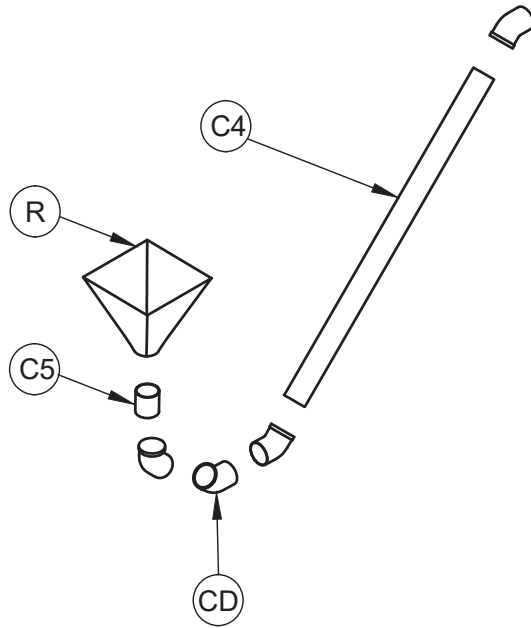


TABLA DE COMPONENTE			
Nombre	Denominación	Material	Cantidad
Receptáculo	R	Lámina de chapa	1

TABLA DE INSUMOS			
Nombre	Denominación	Material	Cantidad
Caño 5	C5	PVC	1
Caño 4	C4	PVC	1
Codo	CD	PVC	4

Propietario legal:  Escuela Universitaria Centro de Diseño  Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UDELAR  UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY	Tipo de documento: Especificación técnica		TDG - 2025 -			
	Proyecto Ciclón Explotada sub conjunto 2		Depto responsable: Dibujo técnico		Estado del documento Publicado	
			Aprobado por:	Escala 1.30	Unidades mm	
	Creado por: María Texeira, Belén Palermo		Referente: Pedro Santoro	Rev.: A	Fecha de edición 23/02/2025	Hoja 3/8

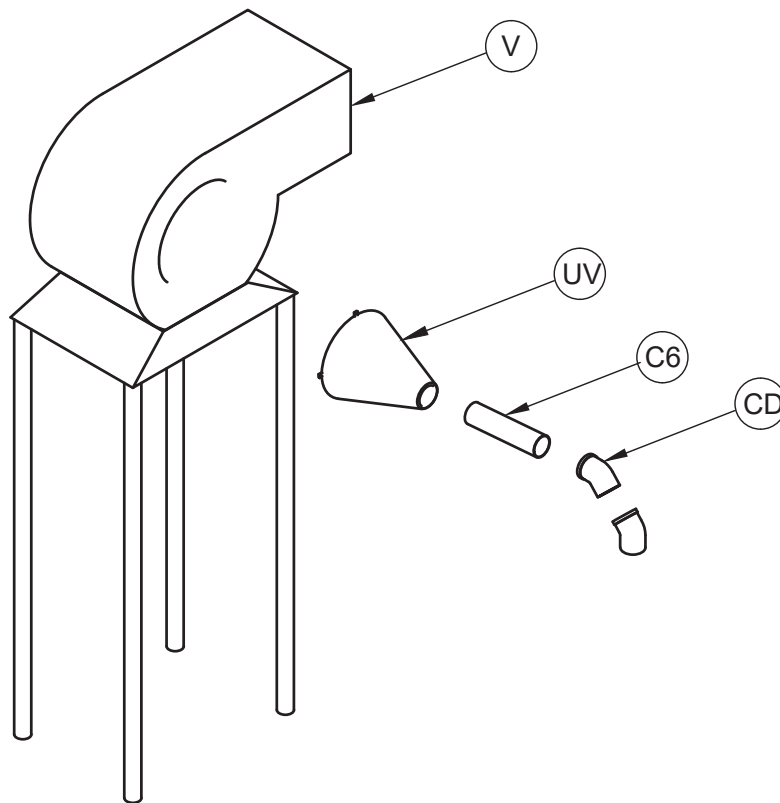


TABLA DE COMPONENTE

Nombre	Denominación	Material	Cantidad
Cono unión	UV	Lámina de chapa	1

TABLA DE INSUMOS

Nombre	Denominación	Material	Cantidad
Caño 6	C6	PVC	1
Ventilador	V	Chapa de acero galvanizado	1
Codo	CD	PVC	2

Propietario legal:



Escuela Universitaria
Centro de Diseño



Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo
UDELAR



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Tipo de documento:
Especificación técnica

Proyecto Ciclón
Explotada sub conjunto 3

Creado por:
María Texeira, Belén Palermo

TDG - 2025 -

Depto responsable:
Dibujo técnico

Estado del documento
Publicado

Aprobado por:

Escala
1.30

Unidades
mm

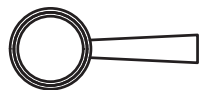


Referente:
Pedro Santoro

Rev.:
A

Fecha de edición
23/02/2025

Hoja
4/8



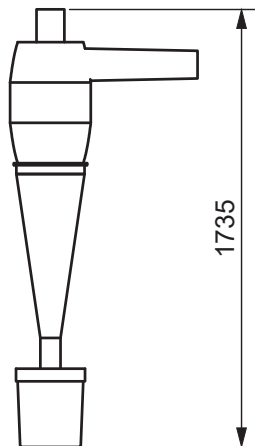
Vista Inferior



Vista Isométrica



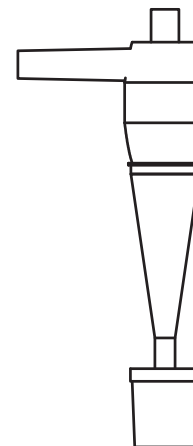
Vista Lateral Der.



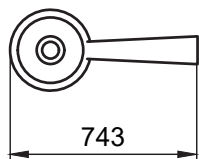
Vista Frontal



Vista Lateral Izq.

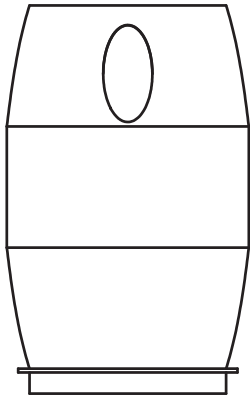


Vista Posterior

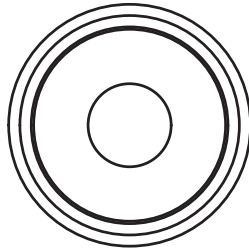


Vista Superior

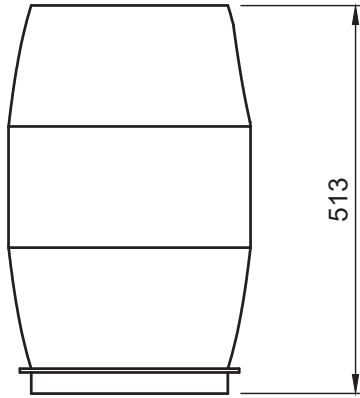
Propietario legal:  Escuela Universitaria Centro de Diseño  Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UDELAR  UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY	Tipo de documento: Especificación técnica		TDG - 2025 -			
	Proyecto Ciclón Vistas generales		Depto responsable: Dibujo técnico		Estado del documento Publicado	
			Aprobado por:	Escala	Unidades mm	
	Creado por: María Texeira, Belén Palermo		Referente: Pedro Santoro	Rev.: A	Fecha de edición 23/02/2025	Hoja 5/8



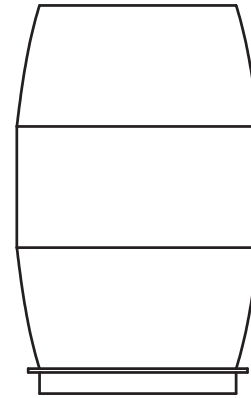
Vista Lateral Der.



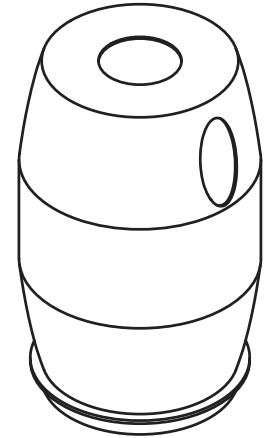
Vista Inferior



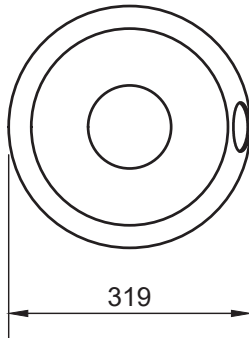
Vista Frontal



Vista Lateral Izq.

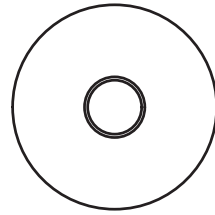


Vista Isométrica

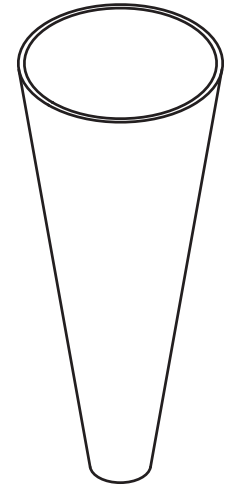


Vista Superior

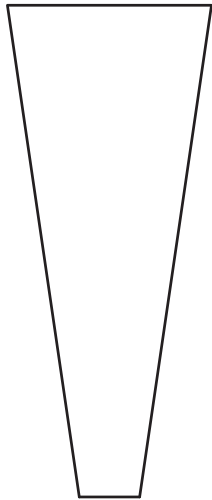
 Escuela Universitaria Centro de Diseño  Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UDELAR  UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY	Propietario legal:	Tipo de documento: Especificación técnica		TDG - 2025 -			
		Proyecto Ciclón Tanque vistas generales Sub conjunto 1		Depto responsable: Dibujo técnico		Estado del documento Publicado	
		Creado por: María Texeira, Belén Palermo		Aprobado por:	Escala 1.10	Unidades mm	
		Referente: Pedro Santoro		Rev.: A	Fecha de edición 23/02/2025	Hoja 6/8	



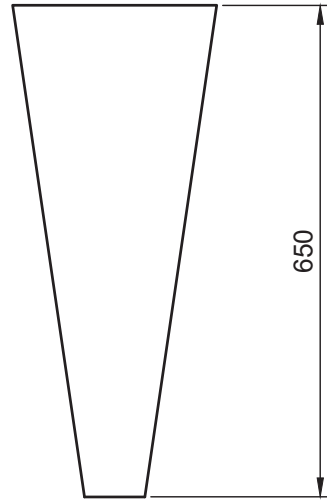
Vista Inferior



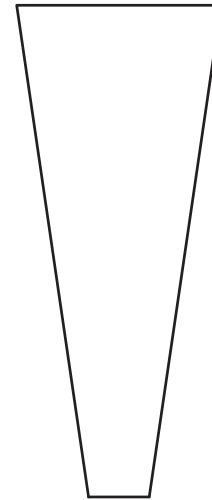
Vista Isométrica



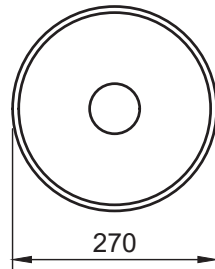
Vista Lateral Der.



Vista Frontal



Vista Lateral Izq.



Vista Superior

Propietario legal:



Escuela Universitaria
Centro de Diseño



Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo
UDELAR



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Tipo de documento:
Especificación técnica

Proyecto Ciclón
Parte cónica vistas generales
Sub conjunto 1

Creado por:
María Texeira, Belén Palermo

TDG - 2025 -

Depto responsable:
Dibujo técnico

Aprobado por:

Escala
1.10

Estado del documento
Publicado

Unidades
mm

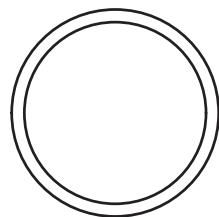


Referente:
Pedro Santoro

Rev.:
A

Fecha de edición
23/02/2025

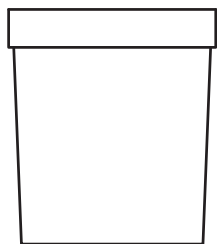
Hoja
7/8



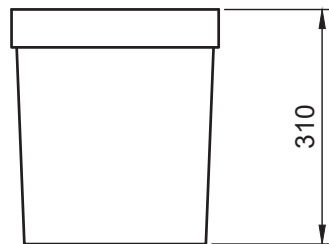
Vista Inferior



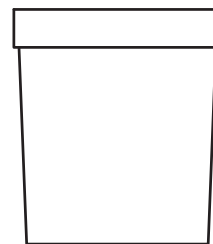
Vista Isométrica



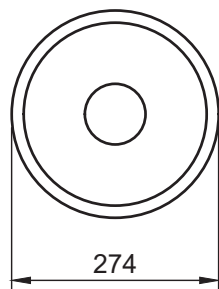
Vista Lateral Der.



Vista Frontal



Vista Lateral Izq.



Vista Superior

Propietario legal:  Escuela Universitaria Centro de Diseño  Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UDELAR  UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY	Tipo de documento: Especificación técnica	TDG - 2025 -			
	Proyecto Ciclón Recipiente vistas generales Sub conjunto 1	Depto responsable: Dibujo técnico	Estado del documento Publicado		
		Aprobado por:	Escala 1.10	Unidades mm	
	Creado por: María Texeira, Belén Palermo	Referente: Pedro Santoro	Rev.: A	Fecha de edición 23/02/2025	Hoja 8/8

Anexo 1.1:

Fichas de armado

En este trabajo se presentan las fichas de armado, las cuales detallan de manera clara y precisa el proceso para ensamblar cada componente del sistema.

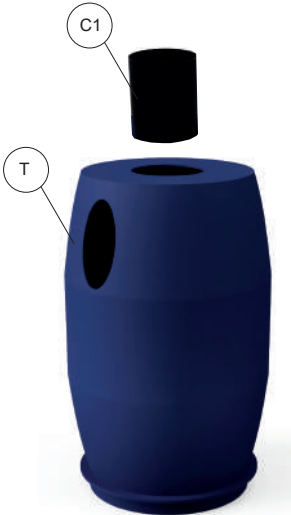
Estas fichas incluyen instrucciones paso a paso y consideraciones técnicas para garantizar un montaje seguro.

El propósito de estas fichas es facilitar la comprensión del proceso de armado, asegurando la correcta interpretación de las piezas y su ensamblaje.

Armado de Subconjunto 1



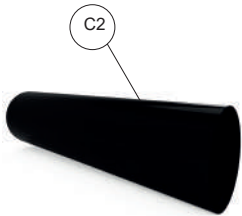
1.Realizar 2 perforaciones en T, una en el centro de la cara superior y otra en el lateral en el extremo superior.



2. Encastrar C1 en la perforación superior de T y pegar



3. Con calor, encastrar C2 en la perforación lateral de T.



Previamente moldear el caño con pistola de calor y un molde.



4. Cortar la parte interna de la tapa de T.

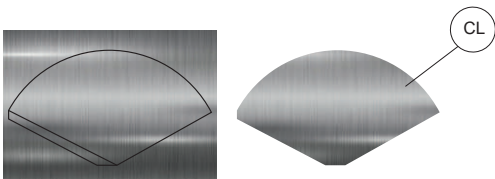


5. Colocarle a T su tapa cortada

Descripción	Tipo	Código	Cantidad
Tanque	Insumo	T	1
Tubo salida	Insumo	C1	1
Tubo entrada	Insumo	C2	1

 Escuela Universitaria Centro de Diseño  Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UDELAR  UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY	Propietario legal:	Tipo de documento: Especificación técnica		TDG - 2025 -			
	Proyecto Ciclón Fichas de armado	Depto responsable: Dibujo técnico		Estado del documento Publicado			
	Creado por: María Texeira, Belén Palermo	Aprobado por:		Escala	Unidades		
		Referente: Pedro Santoro		Rev.: A	Fecha de edición 23/02/2025	Hoja 1/6	

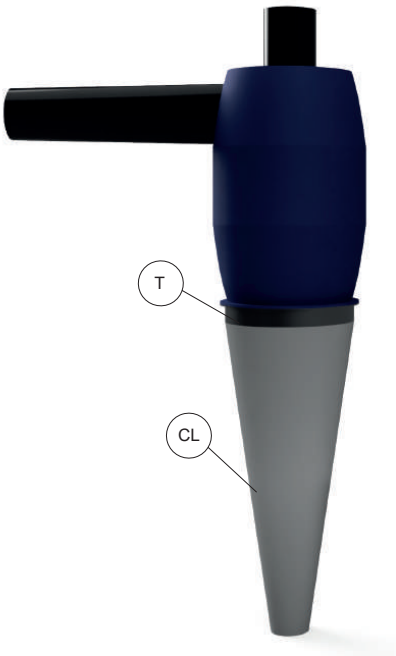
Armado de Subconjunto 1



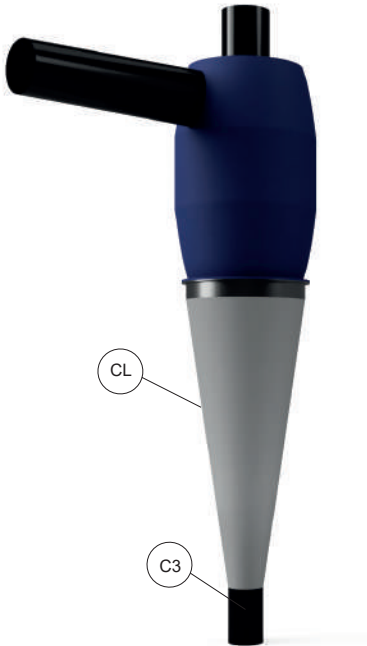
6. Cortar CL en una lámina de chapa



7. Curvar CL y remachar u soldar su solapa.



8. Atornillar borde superior de CL en parte interna de tapa de T



9. Atornillar borde inferior de CL en borde de C3

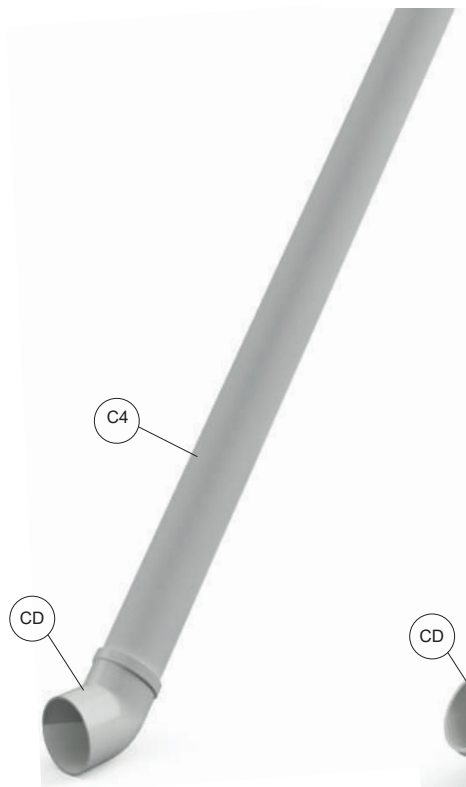


11. Colocar tapa a B

Descripción	Tipo	Código	Cantidad
Tanque	Insumo	T	1
Cono Ciclón	Componente	CL	1
Tubo salida polvo	Insumo	C3	1
Recipiente contenedor	Insumo	B	1

Propietario legal:  Escuela Universitaria Centro de Diseño  Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UDELAR  UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY	Tipo de documento: Especificación técnica		TDG - 2025 -			
	Proyecto Ciclón Fichas de armado		Depto responsable: Dibujo técnico		Estado del documento Publicado	
			Aprobado por:	Escala	Unidades mm	
	Creado por: María Texeira, Belén Palermo		Referente:	Rev.: A	Fecha de edición 23/02/2025	Hoja 2/6
			Pedro Santoro			

Armado de Subconjunto 2



12. Encastrar en un extremo de C4 un CD



13. Encastrar en CD, otro CD



14. Encastrar en CD, otro CD

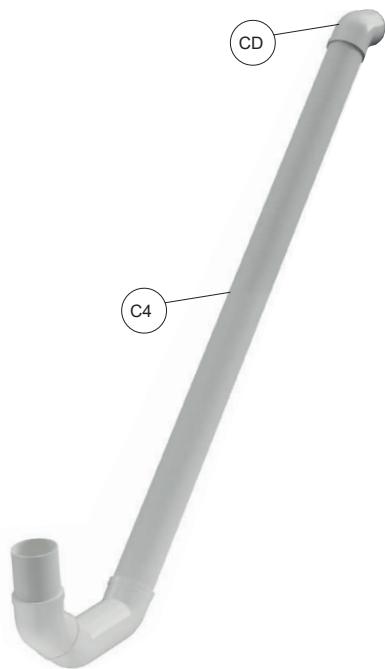


15. Encastrar C5 a el último CD colocado

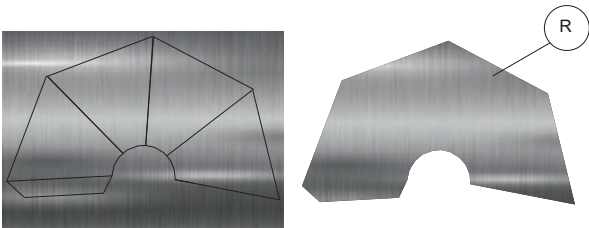
Descripción	Tipo	Código	Cantidad
Codo	Insumo	CD	6
Caño 4	Insumo	C4	1
Caño 5	Insumo	C5	1

Propietario legal:		Tipo de documento:		TDG - 2025 -				
 Escuela Universitaria Centro de Diseño		Especificación técnica		Depto responsable:		Estado del documento		
Fa du Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UDELAR		Proyecto Ciclón		Dibujo técnico		Publicado		
				Fichas de armado				
 UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY		Creado por:		Aprobado por:		Escala	Unidades	
				Referente:		Rev.:	Fecha de edición	Hoja
		María Texeira, Belén Palermo		Pedro Santoro		A	23/02/2025	3/6

Armado de Subconjunto 2



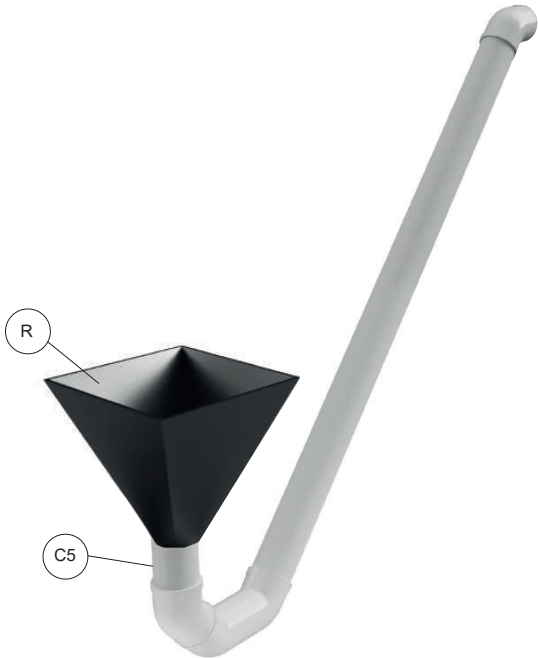
16. Encastrar CD en el otro extremo de C4



17. Cortar R en una lámina de chapa



18. Plegar R y remachar para unir la solapa

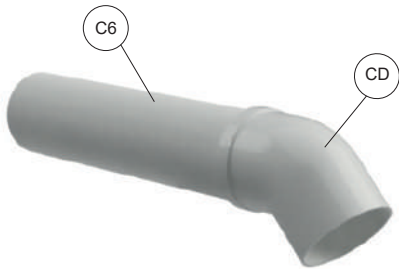


19. Encastrar y atornillar R con C5

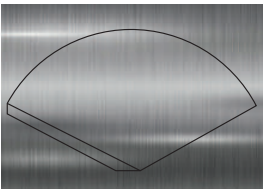
Descripción	Tipo	Código	Cantidad
Codo	Insumo	CD	6
Caño 4	Insumo	C4	1
Caño 5	Insumo	C5	1
Receptáculo	Componente	R	1

 Escuela Universitaria Centro de Diseño  Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UDELAR  UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY	Propietario legal:	Tipo de documento: Especificación técnica		TDG - 2025 -			
	Proyecto Ciclón Fichas de armado	Depto responsable: Dibujo técnico		Estado del documento Publicado			
		Aprobado por:	Escala	Unidades			
	Creado por: María Texeira, Belén Palermo	Referente: Pedro Santoro	Rev.: A	Fecha de edición 23/02/2025	Hoja 4/6		

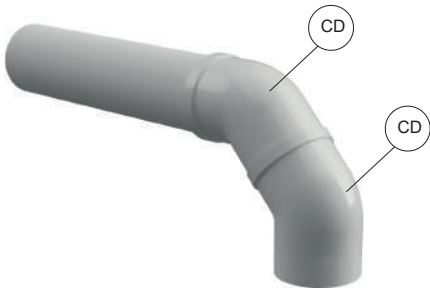
Armado de Subconjunto 3



20. Encastrar CD en C6



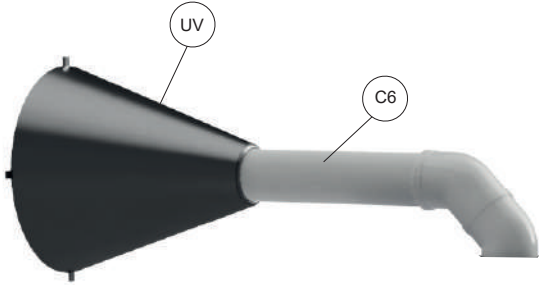
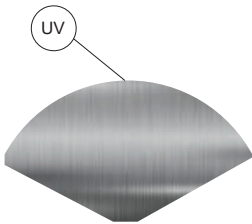
22. Cortar UV en una lámina de chapa



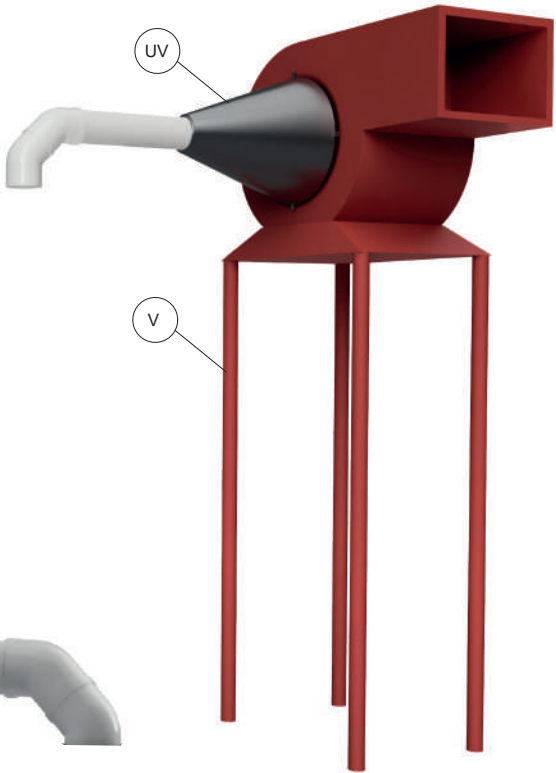
21. Encastrar en CD, otro CD



23. Curvar UV para armar y remachar su solapa.



24. Encastrar y atornillar UV con C6

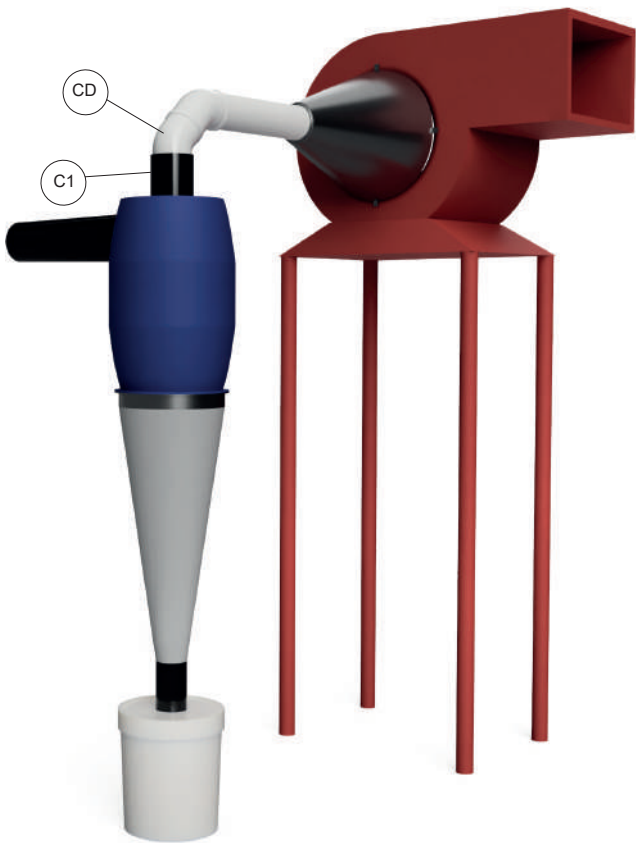


25. Atornillar UV con V

Descripción	Tipo	Código	Cantidad
Codo	Insumo	CD	6
Caño 6	Insumo	C6	1
Cono de unión	Componente	UV	1
Ventilador	Insumo	V	1

Propietario legal:		Tipo de documento: Especificación técnica		TDG - 2025 -				
 Escuela Universitaria Centro de Diseño	 Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UDELAR	 UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY	Proyecto Ciclón Fichas de armado		Depto responsable: Dibujo técnico		Estado del documento Publicado	
					Aprobado por:	Escala	Unidades	
			Creado por: María Texeira, Belén Palermo		Referente: Pedro Santoro	Rev.: A	Fecha de edición 23/02/2025	

Ensamblaje de Subconjuntos



26. Encastrar C1 de Subconjunto 1 con CD de Subconjunto 3



27. Encastrar C2 de Subconjunto 1 con CD de Subconjunto 2

Descripción	Tipo	Código	Cantidad
Codo	Insumo	CD	6
Caño 1	Insumo	C1	1
Caño 2	Insumo	C2	1

Propietario legal:  Escuela Universitaria Centro de Diseño  Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo UDELAR  UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA URUGUAY	Tipo de documento: Especificación técnica		TDG - 2025 -			
	Proyecto Ciclón Fichas de armado		Depto responsable: Dibujo técnico		Estado del documento Publicado	
			Aprobado por:	Escala	Unidades	
	Creado por: María Texeira, Belén Palermo		Referente: Pedro Santoro	Rev.: A	Fecha de edición 23/02/2025	Hoja 6/6

Anexo 1.2:

Manual de instrucciones

En este trabajo, planteamos el desarrollo de un manual de instrucciones sencillo y accesible dirigido a los trabajadores de los talleres de pulido de piedras preciosas.

El objetivo es proporcionar una guía clara y práctica que les permita fabricar su propio sistema de extracción de polvo de sílice utilizando materiales de fácil acceso.

Este dispositivo ha sido diseñado para reducir la exposición a partículas de sílice, mejorando las condiciones laborales y protegiendo la salud de los operadores.

En las siguientes secciones, se describen de manera detallada las **características del equipo**, los **pasos para su fabricación e instalación**, y las **recomendaciones de uso y mantenimiento**. Seguir estas indicaciones garantiza un funcionamiento eficiente, prolonga la vida útil del sistema y contribuye a **crear un entorno de trabajo más seguro y saludable**.

MANUAL DE INSTRUCCIONES



INDICE

Descripción del dispositivo
Especificaciones del dispositivo
Identificación de partes
Armado
Modo de uso
Procedimiento paso a paso para el uso seguro
Mantenimiento
Frecuencia de mantenimiento
Limpieza y revisión del dispositivo
Reemplazo de piezas
Procedimiento para el reemplazo de piezas
Advertencias
Precauciones
Equipos de protección personal (EPP)
Solución a problemas

DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO

El dispositivo de recolección de partículas de sílice ha sido diseñado para mejorar la seguridad en los talleres de procesamiento de piedras preciosas. Su función principal es reducir la exposición de los trabajadores a polvos en suspensión, minimizando los riesgos asociados a la inhalación de partículas de sílice cristalina respirable.

Este sistema cuenta con un ciclón de alta eficiencia, el cual separa las partículas del flujo de aire mediante fuerza centrífuga, permitiendo la recolección del material en un contenedor y reduciendo la cantidad de polvo que llega al sistema de filtrado. El diseño del ciclón se ha optimizado para capturar partículas de pequeño tamaño, típicas del proceso de esmerilado y corte de piedras.



El dispositivo está compuesto por:

Receptáculo y conducto de aspiración: capta el polvo directamente en la fuente de origen y dirige las partículas de sílice al sistema.

Ciclón separador: se encarga de la separación de las partículas sólidas del aire.

Ventilador: genera la fuerza de succión necesaria para mantener un flujo de aire adecuado a través del sistema.

Contenedor de recolección: deposita las partículas separadas para su disposición segura.

Este sistema ha sido diseñado con **materiales de bajo costo y fácil acceso**, asegurando su viabilidad para talleres domésticos y pequeñas industrias. Su implementación contribuye significativamente a mejorar las condiciones de trabajo, protegiendo la salud de los operarios y reduciendo la acumulación de polvo en el ambiente laboral.



ESPECIFICACIONES DEL DISPOSITIVO

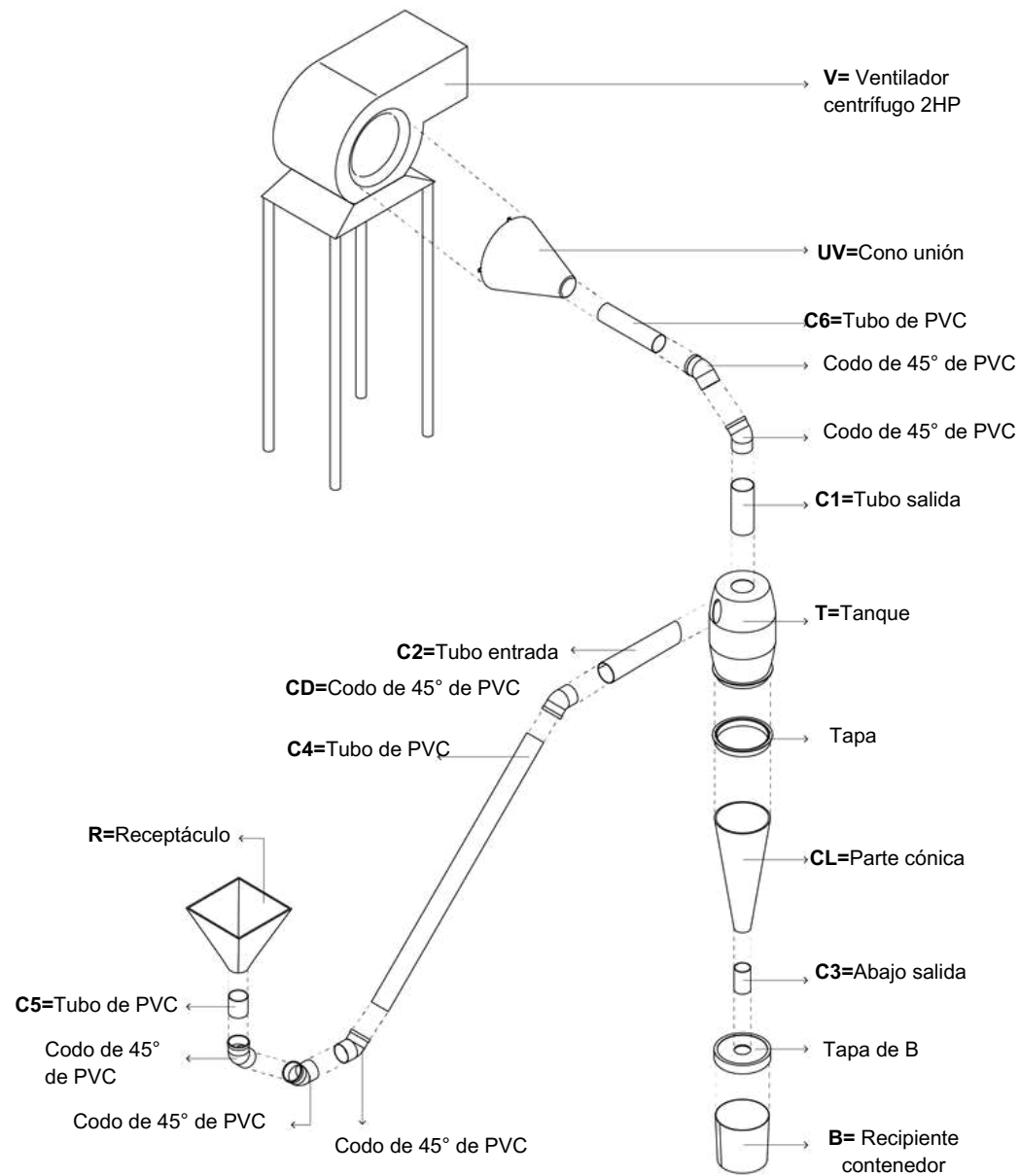
ESPECIFICACIÓN	DETALLE
DIMENSIONES	
Diámetro del ciclón	250 mm
Altura total	2050 mm
Base del sistema	2384 mm

MATERIALES	
Ciclón	Chapa / PVC de alta resistencia
Conductos y conexiones	Tubo de PVC / Chapa
Contenedor de recolección	Plástico

CAPACIDAD Y RENDIMIENTO	
Eficiencia de separación	Alta, optimizada para partículas < 5 µm
Densidad de partículas capturadas	≈ 2,330 kg/m³ (sílice cristalina)

CARACTERISTICAS ADICIONALES	
Extracción localizada	Captura directa en la fuente de emisión
Diseño modular	Facilita mantenimiento y limpieza
Materiales accesibles	Bajo costo, optimizados para talleres de pequeña escala
Consumo energético	Bajo en comparación con sistemas industriales

IDENTIFICACIÓN DE PARTES



ARMADO

1.



2.



3.



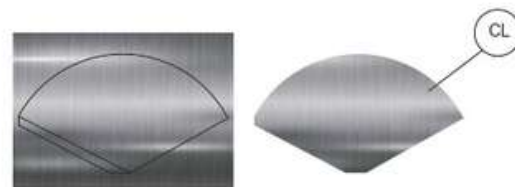
4.



5.



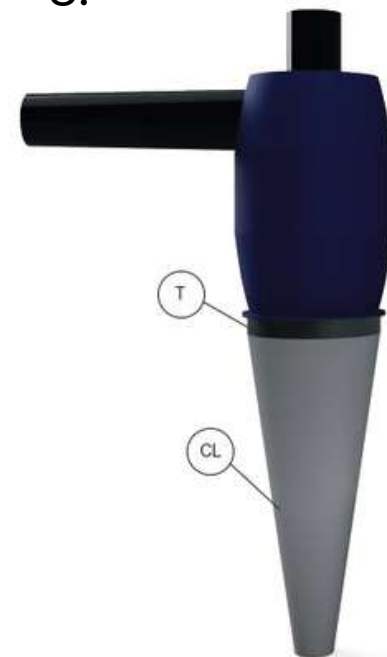
6.



7.



8.



1. Realizar 2 perforaciones en T, una en el centro de la cara superior y otra en el lateral, en el extremo superior.
2. Encastrar C1 en la perforación superior de T y pegar.
3. Con calor, encastrar C2 (previamente moldeado con calor y un molde) en la perforación lateral de T.
4. Cortar la parte interna de la tapa de T.
5. Colocarle a T su tapa cortada.
6. Cortar CL en una lámina de chapa.
7. Curvar CL y remachar y soldar su solapa
8. Remachar borde superior de CL en parte interna de tapa de T.

9.



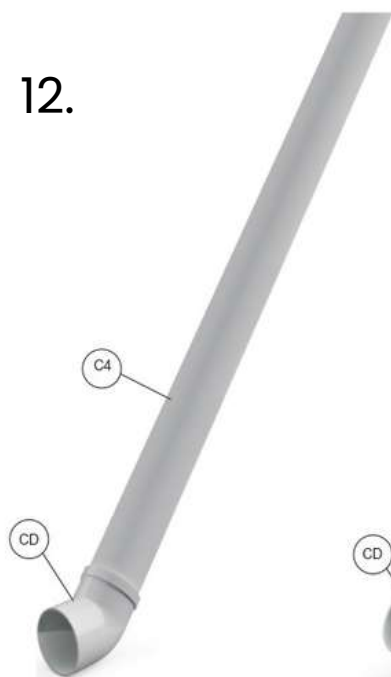
10.



11.



12.



13.



14.



15.



9. Remachar borde inferior de CL en borde de C3.

10. Perforar diámetro de C3 en el centro de la tapa de B.

11. Colocar la tapa de B.

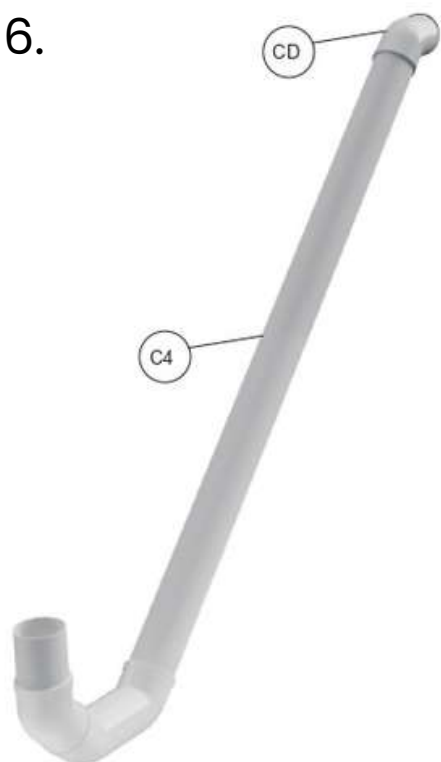
12. Encastrar en un extremo de C4 un CD

13. Encastrar en el CD, otro CD

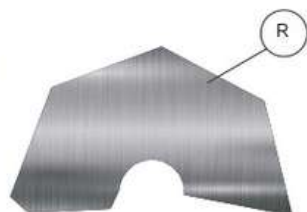
14. Encastrar en el último CD, otro CD

15. Encastrar C5 a el último CD colocado

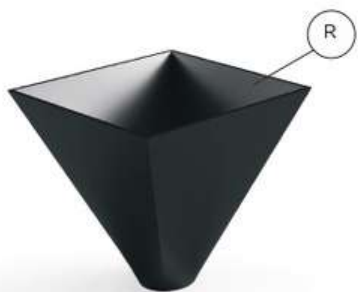
16.



17.



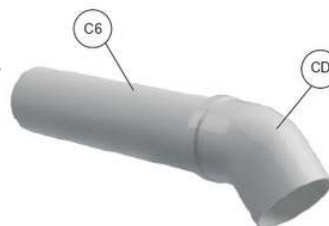
18.



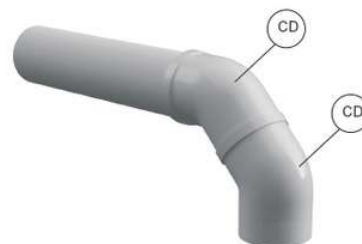
19.



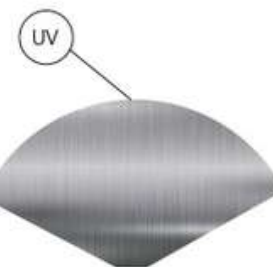
20.



21.



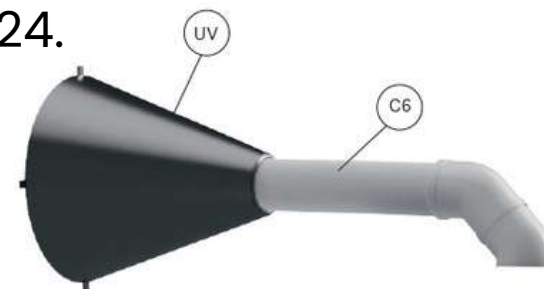
22.



23.

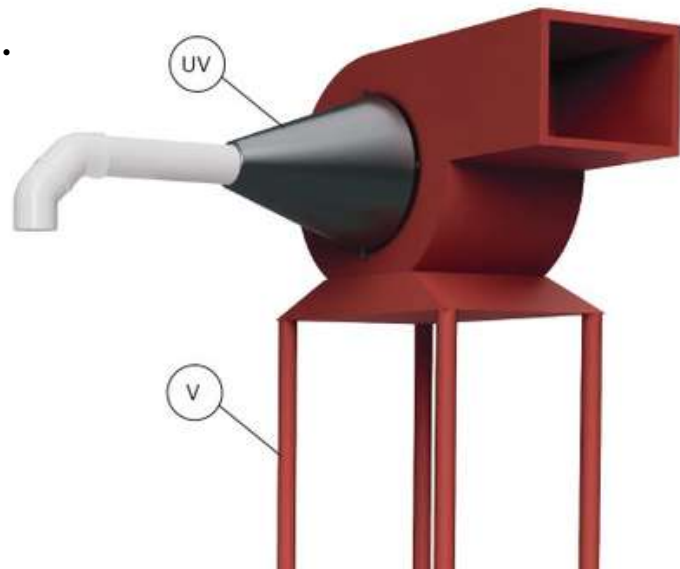


24.



16. Encastrar CD en el otro extremo de C4.
17. Cortar R en una lámina de chapa.
18. Plegar R y remachar para unir la solapa.
19. Encastrar y pegar R con C5.
20. Encastrar CD en C6.
21. Encastrar en CD, otro CD.
22. Cortar UV en una lámina de chapa
23. Curvar UV para armar y remachar su solapa
24. Encastrar y pegar UV con C6

25.



26.



27.



- 25. Remachar UV en V
- 26. Encastrar C1 con CD
- 27. Encastrar C2 con CD

MODO DE USO

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de recolección de partículas de sílice, siga los siguientes pasos para encender, operar y apagar el dispositivo de manera segura:

Encendido:

- Verificar la conexión eléctrica: asegúrese de que el dispositivo esté correctamente conectado a la fuente de alimentación.
- Revisar el sistema de extracción: confirme que los conductos estén bien conectados y sin obstrucciones.
- Encender el ventilador: presione el interruptor de encendido. Espere unos segundos hasta que el ventilador alcance su velocidad óptima.
- Comprobar la succión: acerque una mano a la entrada del conducto de aspiración para asegurarse de que el flujo de aire es adecuado.

Operación:

- Posicione el sistema de extracción lo más cerca posible de la fuente de polvo.
- Realice la tarea asegurándose de que las partículas sean aspiradas eficientemente por el sistema.

Apagado:

- Finalizar la tarea: una vez terminada la operación, asegúrese de que no haya más emisión de partículas.
- Apagar el ventilador: presione el interruptor de apagado.
- Verificar el contenedor de recolección: si está lleno, vacíelo en un lugar seguro para evitar la dispersión del polvo.

PROCEDIMIENTO PASO A PASO PARA EL USO SEGURO

1 Preparación del área de trabajo:

- Use equipo de protección personal (mascarilla, lentes de seguridad, guantes).
- Verifique que el dispositivo esté limpio y sin obstrucciones.

2 Configuración del sistema:

- Asegúrese de que el extractor esté colocado cerca del área de trabajo.
- Ajuste la altura o posición del conducto de succión.
- Conecte el dispositivo a la fuente de alimentación.

3 Encendido y operación:

- Active el ventilador y verifique el flujo de aire.
- Realice la tarea manteniendo la fuente emisora de polvo lo más cerca posible del extractor.
- Supervise el funcionamiento

4 Monitoreo durante la operación:

- Asegúrese de que no haya acumulación de polvo en áreas cercanas.
- Escuche posibles ruidos anormales en el motor o ventilador.
- Verifique que el contenedor de recolección no esté lleno.

5 Apagado y mantenimiento básico:

- Apague el dispositivo cuando termine la tarea.
- Vacíe el contenedor de partículas recolectadas.
- Limpie el sistema con un paño húmedo o aire comprimido.
- Inspeccione visualmente las conexiones y conductos.

MANTENIMIENTO

Para garantizar el buen funcionamiento y la durabilidad del sistema de recolección de partículas de sílice, se recomienda realizar un mantenimiento periódico.

FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO

TAREA DE MANTENIMEINTO	FRECUENCIA RECOMENDADA
Inspección general del dispositivo	Diarias, antes de cada uso
Limpieza del ciclón y conductos	Semanal
Vaciar y limpiar el recipiente de recolección	Después de cada jornada de trabajo
Revisión del ventilador y motor	Mensual
Verificación de conexiones eléctricas	Mensual
Reemplazo de piezas desgastadas	Según desgaste, revisar cada 6 meses

LIMPIEZA Y REVISIÓN DEL DISPOSITIVO

- 1 Apagar y desconectar el dispositivo antes de realizar cualquier mantenimiento.
- 2 **Limpieza del ciclón:**
Desmontar la tapa del ciclón.
Utilizar aire comprimido o un cepillo para remover el polvo acumulado en las paredes internas.
- 3 **Limpieza de los conductos y sistema de extracción:**
Revisar si hay acumulación de partículas en los conductos.
En caso de obstrucción, desmontar y limpiar con aire comprimido o un paño.
- 4 **Vaciar el contenedor de recolección:**
Extraer el recipiente donde se depositan las partículas capturadas.
Desechar el contenido en una bolsa sellada para evitar la dispersión del polvo.
Limpiar el contenedor.
- 5 **Revisión del ventilador:**
Inspeccionar visualmente el estado del ventilador y las aspas.
Limpiar con aire comprimido para eliminar residuos que puedan afectar el rendimiento.
Comprobar que el motor no haga ruidos anormales y que la ventilación sea adecuada.
- 6 **Verificación de conexiones eléctricas:**
Inspeccionar el cableado y los enchufes para detectar daños o desgaste.
En caso de cables deteriorados, contactar a un técnico calificado para su reemplazo.

REEMPLAZO DE PIEZAS

PIEZA	MOTIVO DE REEMPLAZO	FRECUENCIA ESTIMADA
Aspas del ventilador	Desgaste, daño por acumulación de partículas	Cada 6-12 meses
Conductos y conexiones	Fisuras, obstrucciones difíciles de limpiar	Según desgaste
Conexiones eléctricas	Desgaste, daños visibles	Según desgaste

Procedimiento para el reemplazo de piezas

Aspas del ventilador

- Desmontar la carcasa del motor.
- Retirar las aspas dañadas con una herramienta adecuada.
- Instalar las nuevas aspas asegurándose de que estén bien sujetas.

Conductos y conexiones

- Inspeccionar los conductos para identificar grietas o acumulaciones.
- Desmontar la sección dañada y reemplazarla por una nueva del mismo diámetro.
- Asegurar las uniones para evitar fugas.

Conexiones eléctricas

- Verificar que el equipo esté completamente desconectado.
- Si hay cables pelados o dañados, contactar a un electricista calificado para su reemplazo.

ADVERTENCIAS

PRECAUCIONES

Para garantizar un uso seguro del dispositivo, siga estas advertencias y recomendaciones:



Uso adecuado:

Este dispositivo está diseñado exclusivamente para la captura de partículas de sílice.

No utilizar con líquidos, vapores corrosivos o materiales inflamables.



Peligros eléctricos:

No opere el equipo con las manos mojadas ni en ambientes húmedos.

- Verifique regularmente el estado del cableado y conexiones.
- No intente abrir o reparar el motor sin la asistencia de un técnico calificado.



Evitar obstrucciones y sobrecargas:

- No bloquee la entrada de aire ni modifique la estructura del ciclón.
- Si detecta una disminución en el flujo de aire, realice una inspección y limpieza inmediata.



Riesgo de incendio:

- Mantenga el equipo alejado de fuentes de calor y materiales inflamables.
- No aspire chispas, brasas o polvos combustibles que puedan causar incendio.

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)

El uso del equipo de protección personal es obligatorio para evitar riesgos a la salud durante la operación del dispositivo.

EQUIPO DE PROTECCIÓN	RAZÓN DE USO
Macarilla	Evita la inhalación de partículas de sílice
Lentes de seguridad	Protege los ojos contra el polvo en suspensión
Guantes resistentes al polvo	Proviene el contacto con partículas finas
Protección auditiva	Reduce el impacto del ruido prolongado
Ropa de trabajo de manga larga	Minimiza el contacto con partículas suspendidas

SOLUCIÓN A PROBLEMAS

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
El dispositivo no enciende	-No está conectado correctamente -Interruptor en mal estado. -Fusible quemado o problema eléctrico.	-Verificar la conexión a la corriente. - Revisar el interruptor y probar con otra toma. - Inspeccionar y reemplazar el fusible si es necesario.
Flujo de aire insuficiente	- Obstrucción en el conducto o ciclón. - Motor con baja potencia o fallo mecánico.	- Limpiar los conductos y el ciclón. - Comprobar que el motor funcione correctamente.
Ruidos extraños	- Partes sueltas o desalineadas. - Obstrucción en las aspas del ventilador. - Motor desgastado o con problemas mecánicos.	- Apagar el dispositivo y revisar si hay piezas flojas. - Inspeccionar el ventilador y limpiar cualquier obstrucción. - Consultar a un técnico si el problema persiste.
El contenedor de polvo se llena muy rápido	- Exceso de partículas en el ambiente. - Capacidad del contenedor insuficiente.	- Vaciar el contenedor con más frecuencia. - Considerar un contenedor de mayor capacidad si es posible.
El dispositivo se sobrecalienta	- Ventilación obstruida. - Fallo en el motor o sobrecarga eléctrica.	- Limpiar las áreas de ventilación. - Inspeccionar el motor y verificar que no esté forzado.
El polvo escapa del sistema	• Uniones deteriorados o mal ajustados.	- Revisar las uniones y ajustarlas si es necesario.

El dispositivo de recolección de partículas de sílice ha sido diseñado para mejorar la seguridad y la eficiencia en el entorno de trabajo, minimizando la exposición al polvo nocivo. Para garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil, es fundamental seguir las instrucciones de uso, mantenimiento y seguridad descritas en este manual.

El cumplimiento de las recomendaciones aquí establecidas no solo optimiza el rendimiento del equipo, sino que también protege la salud del usuario y previene accidentes. Se recomienda realizar inspecciones periódicas, utilizar el equipo de protección adecuado y solucionar cualquier problema de manera oportuna.

Un uso responsable y un mantenimiento adecuado permitirán que el dispositivo siga operando de manera eficiente, contribuyendo a un ambiente de trabajo más seguro y saludable.



Anexo 2.0:

Efectos del polvo de sílice en la salud respiratoria

La Red Europea de Sílice (NEPSI), constituida por sindicatos europeos de trabajadores y empresarios que firmaron el “Acuerdo sobre la protección de la salud de los trabajadores a través de la buena manipulación y uso de la sílice cristalina y los productos que la contienen”, describe a la silicosis de la siguiente manera:

“La silicosis es uno de los tipos de neumoconiosis más frecuentes. Se trata de una fibrosis nodular progresiva provocada por el depósito en los pulmones de partículas respirables finas de sílice cristalina. La cicatrización resultante de las partes más interiores de los pulmones puede llevar a dificultades respiratorias y, en algunos casos, a la muerte. Las partículas de mayor tamaño (no respirables) tienen más probabilidad de depositarse en las vías respiratorias principales (superiores) del aparato respiratorio y pueden eliminarse mediante el moco o la acción ciliar. La silicosis común suele venir causada por la inhalación crónica prolongada de polvo de sílice cristalina respirable generado por un proceso laboral.” (NEPSI | Good Practice Guide, s. f., p. 21)

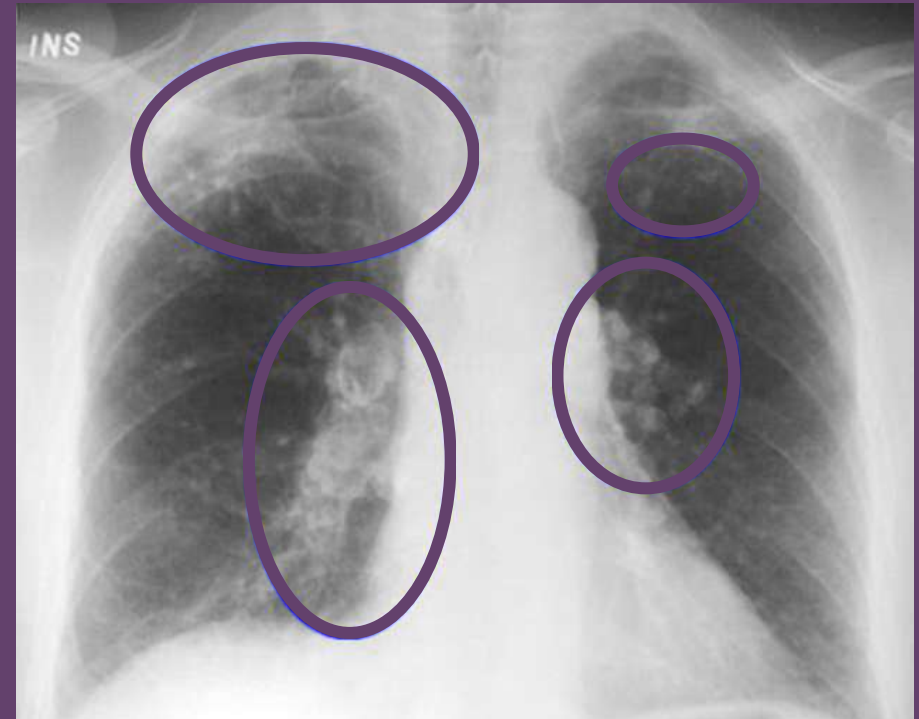


Figura. Radiografía, Silicosis pulmonar. Fuente: Quizlet

Dependiendo del tiempo de exposición y la concentración de sílice, se pueden dar tres tipos de silicosis. Como señala el Instituto de Salud Pública (2016), “el porcentaje de sílice libre que contiene el material y el tiempo de exposición son factores cruciales en la generación de silicosis, puesto que determinan el nivel de exposición a que está sometido un trabajador: a mayor exposición, mayor daño.”

El Ministerio del Trabajo y Previsión social (s. f.) **clasifica la silicosis en tres tipos, según el nivel y tiempo de exposición a la sílice cristalina respirable.**

Anexo 2.1:

Tipos de silicosis

SILICOSIS CRÓNICA

“La silicosis crónica o clásica, la más común, se produce al cabo de 10 a 20 años de exposiciones moderadas o bajas a la sílice cristalina respirable.

Los síntomas asociados pueden ser o no evidentes; por lo tanto, los trabajadores necesitan hacerse una radiografía de tórax para determinar si hay daño pulmonar.

A medida que avanza la enfermedad, al trabajador puede faltarle el aliento cuando hace un esfuerzo o puede presentar signos-

clínicos de un intercambio deficiente de oxígeno y dióxido de carbono. En las últimas etapas, el trabajador puede sentirse cansado, falta de aliento extrema, tos, dolor de pecho o insuficiencia respiratoria.” (Instituto de Salud Pública de Chile ISPCH, 2016, p. 6)

SILICOSIS ACELERADA

“..Puede ocurrir con 5 a 10 años de exposición elevada a la sílice cristalina respirable. Es similar a la silicosis crónica pero avanza con mayor rapidez. Los síntomas incluyen tener debilidad y pérdida de peso”. (Instituto de Salud Pública de Chile ISPCH, 2016, p. 6)

SILICOSIS AGUDA

“...Ocurre en unos cuantos meses o hasta 2 años después de la exposición a muy altas concentraciones de sílice cristalina respirable. Los síntomas de la silicosis aguda incluyen una falta de aliento gradual y grave, debilidad y pérdida de peso. Aunque la silicosis aguda es mucho menos común que las otras formas de silicosis, casi siempre lleva a la discapacidad y la muerte.” (Instituto de Salud Pública de Chile ISPCH, 2016, p. 6)

El Instituto de Salud Pública (2016) señala que la silicosis no tiene cura. Dado que la silicosis afecta el funcionamiento de los pulmones, el individuo es más susceptible de contraer infecciones pulmonares como la tuberculosis. Además el hecho de fumar, puede dañar los pulmones y empeorar el daño que causa la inhalación de polvo de sílice. La inhalación a Sílice cristalizada (cuarzo, cristobalita y tridimita) produce una reacción pulmonar que conlleva una Insuficiencia Respiratoria permanente. Esta enfermedad no sólo afecta la calidad de vida de los trabajadores que la poseen, sino también al interior de las familias.

Aunque esta enfermedad no tiene cura, existen medidas que los trabajadores pueden tomar para prevenir la silicosis. Entre ellas, el uso de respiradores certificados, asegurar una ventilación adecuada en el área de trabajo, evitar barrer en seco o limpiar el polvo con aire comprimido, y ser conscientes de las operaciones que generan exposiciones a la sílice cristalina. Es fundamental que los trabajadores aprendan a protegerse y adopten estas prácticas para reducir riesgos.

Anexo 3.0:

Normativas internacionales relevantes



La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, sigla en inglés) promueve las condiciones seguras de trabajo, investiga las quejas de seguridad y previene las lesiones en el lugar de trabajo.



El Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH) es la agencia federal encargada de hacer investigaciones y recomendaciones para la prevención de enfermedades y lesiones relacionadas con el trabajo.



(Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales), es una organización científica que estudia temas de salud ocupacional y de salud ambiental.

Estas organizaciones de salud y seguridad laboral ocupacional han establecido límites de exposición permisibles para la sílice en el lugar de trabajo, con el objetivo de proteger a los trabajadores de enfermedades. Estos valores definen la cantidad máxima de sílice a la que un trabajador puede estar expuesto durante una jornada laboral, sin comprometer su salud. A continuación se detallan los valores establecidos:

“**OSHA:** cuarzo (respirable) 10 mg/m^3 /(%SiO₂+2);
cristobalita y tridimita (respirable) $\frac{1}{2}$ de lo anterior mencionado

OSHA PEL: $50 \mu\text{g/m}^3$ (polimorfos combinados)
 $25 \mu\text{g/m}^3$ nivel de acción

NIOSH: 0.05 mg/m^3 ; carcinógeno
ACGIH: cuarzo (respirable) 0.1 mg/m^3
cristobalita (respirable) 0.05 mg/m^3
tridimita (respirable) 0.05 mg/m^3

ACGIH TLV: $0.025 \mu\text{g/m}^3$ (fracción respirable)
(α -cuarzo y cristobalita)

PEL: (límite de exposición permisible a una sustancia en el trabajo establecido por la OSHA)”
(National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 2003)

En relación a los límites establecidos por OSHA, se entiende que el límite permisible de exposición para el cuarzo se calcula con la fórmula mencionada anteriormente y que la concentración máxima permitida depende del porcentaje de sílice. En cuanto a la Cristobalita y Tridimita, el límite es la mitad del valor calculado para el cuarzo, debido a que este es más peligroso.

En cuanto a NIOSH, el valor límite recomendado es de 0.05 mg/m³ (equivalente a 50 µg/m³). Este valor se aplica tanto para cuarzo, cristobalita y tridimita, además de resaltar la necesidad de control riguroso en ambientes laborales.

Por su parte ACGIH, el valor límite que establece corresponde a una concentración más estricta en comparación a OSHA. Para la Cristobalita y Tridimita establece un límite aún más bajo.

En conclusión, aunque OSHA y NIOSH establecen límites que se consideran seguros, ACGIH propone valores más bajos para asegurar la protección de los trabajadores expuestos al sílice.

Anexo 3.1:

Legislación nacional uruguaya sobre seguridad ocupacional

En Uruguay, la seguridad y salud de los trabajadores están respaldadas por un conjunto de leyes y decretos que buscan garantizar condiciones adecuadas en los ambientes laborales. Estas normativas no solo establecen los derechos y obligaciones de empleados y trabajadores, sino que definen referencias para prevenir accidentes y enfermedades profesionales.

La **Ley N.º 16.074**, que regula los seguros sobre accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, define a las enfermedades profesionales como aquellas causadas por factores de riesgo físicos, químicos y biológicos utilizados o manipulados durante el proceso de trabajo, o que estén presentes en el lugar de trabajo.

Ley N.º 16.074, sobre seguros de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, art. 1 (1989). Uruguay.

El **Decreto nacional N.º 406/988** titulado “Reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional. Seguridad Laboral”, establece en su artículo N.º 52: «En los locales de trabajo el suministro de aire fresco y limpio, por hora y por trabajador, deberá estar entre 30 y 50 metros cúbicos, salvo que se efectúe una renovación total del aire varias veces por hora, no inferior a seis para trabajos sedentarios ni a diez para trabajos que exijan un esfuerzo físico». Decreto N.º 406/988, Reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional, art. 52 (1988). Uruguay.

Por su parte, el **Decreto N° 321/009**, en el capítulo III - Derechos, deberes y obligaciones, artículo 7, establece: «El empleador debe aplicar las medidas de prevención tendientes a evitar accidentes de trabajo y enfermedades contraídas a consecuencia o en ocasión del trabajo. A tal fin, en el marco de sus responsabilidades, el empleador desarrollará una acción permanente con el fin de mejorar los niveles de seguridad y salud existentes». Decreto n.º 321/009, Reglamentación del convenio internacional de trabajo n° 184 sobre seguridad y salud en la agricultura, art. 7 (2009). Uruguay.

La implementación de leyes y decretos en Uruguay ha sido importante para garantizar la salud de los trabajadores en diversos sectores. Tanto empleados como trabajadores tienen un rol determinante en la promoción de un ambiente laboral seguro. Además de establecer normativas para los empresarios, es vital que los trabajadores estén capacitados y conscientes de los riesgos a los que están expuestos.

Es importante seguir invirtiendo en la capacitación para mejorar las condiciones laborales y reducir riesgos. La realización de charlas y la difusión de buenas prácticas son fundamentales para que los trabajadores adopten medidas preventivas positivas.

Anexo 4.0:

Identificación de riesgos laborales

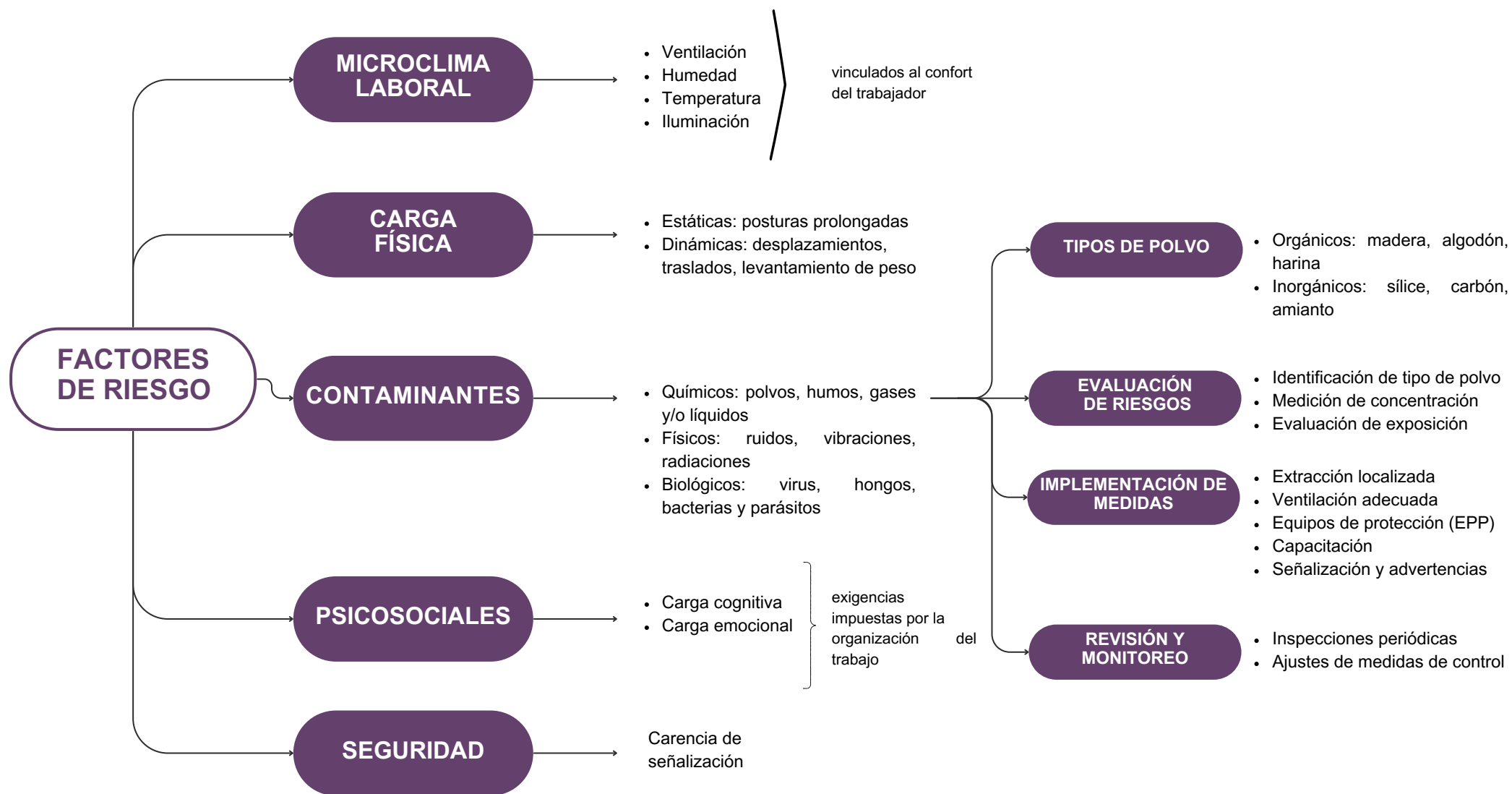


Figura. Esquema de identificación de riesgos laborales. Fuente: elaboración propia.

Anexo 5.0:

Equipos de protección personal

MÁSCARA

Es fundamental para proteger contra la inhalación de polvo en la industria minera.

Una característica a resaltar del filtro que se utiliza es que “se satura en forma más lenta, debido al diseño cubierto que excluye a las partículas mayores, y al hecho de que este filtro posee un 50% más de superficie de filtración que el antiguo filtro 7093” (Filtro 7093 (P100) Con Medio Rostro o Rostro Completo Ficha Técnica, s. f.)

Cuando el filtro está obstruido; el trabajador nota de inmediato la dificultad para respirar, lo que indica que debe ser cambiado.



Figura. Máscara. Fuente: elaboración propia.

LENTES

El uso de lentes es fundamental para proteger los ojos de los trabajadores frente a lascas, fragmentos y/o polvo de piedras que podrían causar lesiones graves. Estos no solo previenen accidentes que podrían afectar la visión de forma permanente, sino que también reducen el riesgo de irritaciones causadas por el polvo, que es común en el pulido de las piedras.



Figura. Lentes. Fuente: elaboración propia.

GUANTES

Los guantes, además de proteger contra cortes durante el manejo de las piedras y el uso de pulidoras, también previenen el contacto directo con ciertos materiales que pueden causar irritaciones en la piel. Es fundamental que estos sean adecuados, ya que un buen agarre es esencial al pulir las piedras. Deben ser resistentes, flexibles, permitiendo al trabajador realizar su trabajo con precisión sin comprometer la seguridad.



Figura. Guantes. Fuente: elaboración propia.

Anexo 6.0:

Entrevistas: Trabajadores de los talleres

Preguntas realizadas a trabajadores de talleres:

1. ¿Hace cuánto tiempo trabaja en este campo?
2. ¿Qué herramientas y materiales utiliza habitualmente en su trabajo?
3. ¿Utiliza algún tipo de equipo de protección personal durante su jornada laboral? ¿Lo utiliza toda la jornada? ¿Puede describirlos?
4. ¿En caso de no utilizar protección? ¿Por qué?
5. ¿Cómo higienizan la protección?
6. ¿Ha recibido formación sobre los riesgos asociados con el polvo de sílice
7. ¿Ha experimentado o conoce a colegas que hayan experimentado problemas de salud relacionados con su trabajo?

Enzo, 23

1. Trabajo hace casi 2 años
2. Lijas, gotitas, maquinaria
3. Utilizo máscara y guantes de protección, a veces lentes, Depende como esté la piedra, Utilizo toda la jornada si
4. —
5. —
6. No, no recibí información sobre los riesgos
7. No tuve ningún problema de salud relacionado con mi trabajo, tampoco tuve algún colega que lo tuviera

Rivana, 35

1. Hace 2 años
2. Maquina, lijas correspondientes y gotita para pasar en las piedras
3. Guantes y máscara
4. —
5. Higienizamos lavando normalmente y cambiando filtros de máscaras.
6. No
7. Si conozco una compañera tuvo problemas pulmonares. A causa del polvillo.

Rosana, 55

- Toda la vida
- Lijadora y gotitas
- Debería de ponerme máscara, guantes, lentes. Pero para ser sincera no los utilizo, me incomodan
- Porque me incomoda, me da calor.
- —
- No
- —

Fredy, 48

- Hace 5 años aproximadamente
- Pulidora
- A veces si, uso la máscara de protección, pero otras no porque me da mucho calor y sensación de ahogo.
- Por eso que les comentaba, me asfixia
- No la higienizamos, cada tanto capaz se cambian
- No, nunca
- La verdad no lo se.

Anexo 7.0:

Proceso industrial en fotografías

El siguiente esquema demuestra un relevamiento de todas las etapas del proceso de la industria, desde la extracción hasta la comercialización con imágenes propias capturadas en cada fase del proceso, mediante la investigación del contexto. El propósito de esta documentación visual es proporcionar una visión integral y detallada de cada etapa, identificando tanto las condiciones laborales de los trabajadores como las tecnologías empleadas.

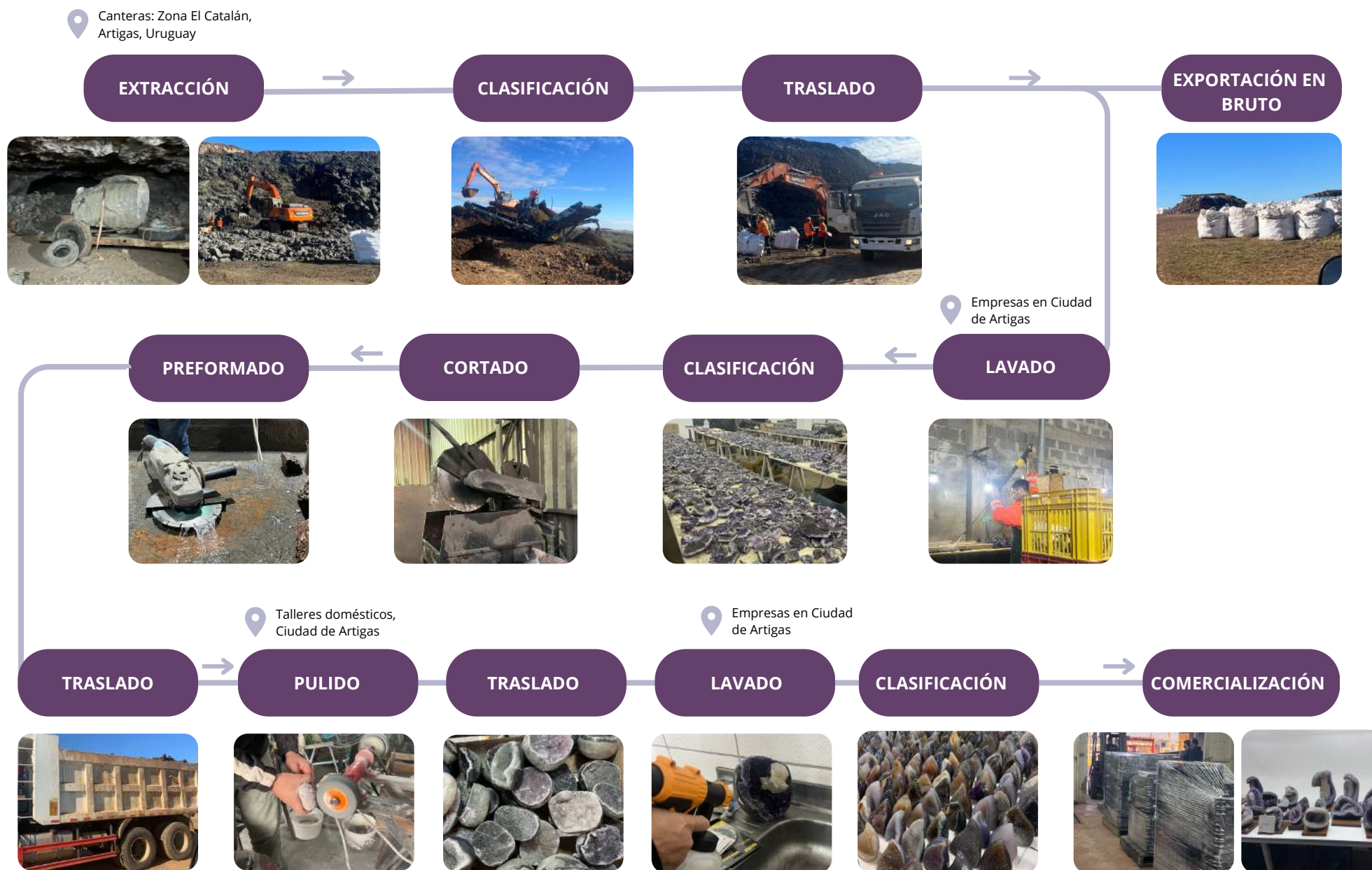


Figura. Proceso industrial en fotografías. Fuente: elaboración propia

Anexo 8.0:

Entrevistas: Dueños/encargados de empresas

Preguntas realizadas a distintos dueños de empresas en los primeros encuentros:

1. ¿Qué tipos de equipos de trabajo de protección utilizan los trabajadores?
¿Los utilizan en toda la jornada laboral?
2. ¿Le ofrecen algún tipo de capacitación sobre los riesgos a los cuales están expuestos?
3. ¿Ha registrado la empresa casos de sílice? ¿Cómo se han abordado?
4. ¿Qué procesos realizan en la empresa?

Carlos, dueño de Le Stage Minerals, empresa de piedras de Artigas (350 empleados)

1. Utilizan máscaras 3M con un filtro de carbono, depende el tipo de filtro si se trabaja con sistema húmedo o seco. El filtro se tapa cuando ya no funciona más y se cambia. Estas máscaras las traemos de Taiwán, porque las conseguimos a US\$3 c/u, mientras que acá en Uruguay las conseguimos a US\$20 c/u. Nosotros traemos importaciones y las vendemos a las otras empresas de acá. Si las utilizan todo el tiempo que están trabajando.
2. Si, 3M Uruguay ofrece capacitaciones sobre los riesgos y específicamente de lo que ustedes están abordando sobre la sílice, para los trabajadores y suelen durar un par de horas. Estos se realizan en el auditorio y a veces en la empresa.
3. Acá en Uruguay no, pero sí conozco casos de Brasil.

4. Comienza en la extracción en la cantera, después se embala y se traen para acá, donde se extienden, se lavan y clasifican. Luego se deriva a corte, para eliminar el basalto y se preforma. La parte de lijado y pulido no la realizamos, se derivan a los pequeños talleres. Luego vuelven, se lavan y clasifican para la comercialización.

Abelino, dueño de empresa de piedras de Artigas (13 empleados)

1. Se les ofrecen máscaras, lentes y guantes, pero no las utilizan, es difícil que el empleado utilice máscara aunque tengan todas las advertencias. En la cantera tenemos un cartel grande, con toda la información, pero igual así no se cuidan. Piensan “a mí nunca me va a pasar”. Falta concientizar a los empleados sobre la gravedad, como no hubo casos acá no toman dimensión de la gravedad.
2. Hay capacitación sobre los riesgos del polvo si, inclusive había un proyecto de una persona para primeros auxilios, pero acá no tenemos.
3. De Brasil si, conozco muchas personas que se están muriendo, con el tiempo vamos por el mismo camino.
4. Antes traíamos el producto hasta la empresa en Artigas, pero últimamente gran parte de la producción ya la exportamos desde la Cantera hacia Brasil, los brasileros prefieren la piedra en bruto ya que no se le cobran impuestos porque está llevando mano de obra, que allí-

más barata. Con la poca producción que traemos para acá, no realizamos lijado y pulido, eso se terciariza.

Matias, contador de empresa de piedras de Artigas

1. Tienen disponibles mascarillas desechables con válvula de exhalación, pero no las utilizan por costumbre, incomodidad.
2. No reciben capacitación
3. No conozco la enfermedad
4. Acá realizamos corte, preformado, máquinas con agua o combustible. El lijado y pulido lo tercerizamos.

Paulo, dueño de empresa de piedras en Artigas

1. Utilizan máscaras, lentes, auriculares para aislamiento de ruido.
2. —
3. Si conozco de otras partes, de acá no.
4. Realizamos extracción, lavado, clasificación, corte y preformado. El lijado y pulido lo derivamos a talleres pequeños.

Anexo 9.0:

Tipos de colectores de polvo

COLECTOR DE POLVO DE CARTUCHO



“...utilizan filtros plegados que pueden ser de papel o fieltros que están contenidos en recipientes completamente cerrados, o cartuchos. Los colectores de cartucho típicamente se usan en procesos industriales pequeños con flujos menores a 11.8 m³/s (25,000 pies³/min). (Fernández Sandoval, 2008)

Ventajas

- Ocupan menos espacio
- Mayor eficiencia en espacios chicos.

Figura. Colector de polvo de cartucho. Fuente: GyG industrial

COLECTOR DE POLVO DE CICLÓN



“Los ciclones son colectores centrífugos donde la entrada de partículas es tangencial al cuerpo del cono, forzando el material hacia la parte externa lo que disminuye la velocidad del aire y propicia el desprendimiento de partículas.” (Arias, 2012)

Ventajas

- Bajo costo y alta resistencia a la abrasión, temperaturas extremas y ambientes corrosivos.

Figura. Colector de polvo de ciclón. Fuente: Gruber hermanos

COLECTOR DE POLVO ELECTROESTÁTICO



“...es un dispositivo de control de partículas que utiliza fuerzas eléctricas para moverlas fuera de la corriente de gas y sobre las placas del colector. A las partículas se les da una carga eléctrica forzándolas a pasar a través de una corona, una región en la cual fluyen iones gaseosos.” (Fernández Sandoval, 2008)

Ventajas

- Alta eficiencia para partículas ultrafinas y menor mantenimiento

Figura. Colector de polvo electroestático. Fuente: Donaldson filtration solutions

COLECTOR DE POLVO DE MANGA



“El gas cargado de partículas pasa generalmente a lo largo del área de las bolsas y luego radialmente a través de la tela. Las partículas son retenidas en la cara de las bolsas corriente arriba y el gas limpio es ventilado hacia la atmósfera.” (Fernández Sandoval, 2008)

Ventajas

- Alta capacidad de filtración, incluso para partículas finas.
- Adaptables a diferentes industrias y condiciones.

Figura. Colector de polvo de manga. Fuente: IndiaMART

Anexo 10.0:

Búsqueda de maquinas existentes

Cabina de chorro de arena de aspiración

Las Cabina de chorreado son espacios de trabajo cerrados diseñados para operaciones de arenado o granallado. Estas cabinas se utilizan para contener los medios abrasivos y evitar la propagación de polvo y residuos durante el proceso de arenado.

• Áreas en donde se utiliza

Aplicaciones dentales, joyería

• Fabricante/ Marca



• DIMENSIONES

660 mm x 530 mm x 500mm

• CARACTERÍSTICAS

- Material: Fabricada en chapa de acero
- Peso: 38 Kg

• RENDIMIENTO

- Consumo de aire 300-450 l/min a 7 bar
- Presión operacional de 1,5 a 7 bares

• EFICIENCIA

Eficiente sistema de contención de polvo.

Link:

<https://www.cbsabbiatrici.com/en/products/s-hot-peening-machines/pal-sb/>



• Beneficios

- Iluminación con lampara LED-Ventana de visualización protectora de lexan de 4 mm-
- Puerta de carga con cerradura magnética

• Impacto ambiental

Al contener los medios abrasivos se evita la propagación de polvo y residuos durante el proceso de arenado.

Brazo de extracción de pared T-Flex

El T-Flex con contrapeso es un brazo de aspiración telescópica montado en la pared con una campana giratoria, adecuado para posiciones de soldadura horizontales.

• Áreas en donde se utiliza

Soldadura en posición, bancos de trabajo.

• Fabricante/ Marca

PLYMOVE[®]

• Componentes adicionales

- Lámpara de trabajo (WL)
- Dispositivo que enciende y apaga automáticamente, ahorra gran cantidad de energía

• DIMENSIONES

- Longitud 2,5 m
- Diámetro 203 mm

• CARACTERÍSTICAS

- Material: Tubos son de polipropileno fuerte (PP)
- Campana del brazo rota 360°
- Peso ligero
- Resistente a los impactos

• RENDIMIENTO

- Filtros modulares con limpieza automática

• EFICIENCIA

Eficiencia energética, los sensores aseguran que se use la energía donde y cuando sea necesario.

Link:

<https://www.directindustry.es/prod/plymove/pro duct-5724-821053.html>



• Beneficios

-Los brazos de aspiración aspiran y eliminan la contaminación en el origen, evitando que la contaminación alcance las vías respiratorias.

• Impacto ambiental

Con la aspiración en el origen se evita eficazmente la expansión de la contaminación.

Colectores de polvo cyclone

Los colectores de polvo ciclónicos son separadores mecánicos que utilizan los principios de la fuerza centrífuga para eliminar las partículas de la corriente de aire.

• Áreas en donde se utiliza

Minería, oleoductos, construcción, ferretería, construcción naval, industria química, maquinaria, fundición y otras industrias

• Fabricante/ Marca



• Componentes adicionales

-Diferentes opciones de base, de filtros de bolsa.

• DIMENSIONES

Altura 2540 mm

• CARACTERÍSTICAS

- Ensamblaje de entrada
- Base de tambor de 55 galones (208.2 litros)

• RENDIMIENTO

- Motor TEFC (Ventilador totalmente cerrado refrigerado). Rango nominal de flujo de aire 510 - 917 m³ /h.

• EFICIENCIA

La eficiencia de eliminación de polvo fluctúa entre 70-85%.

Link:

<https://www.donaldson.com/es-mx/industrial-dust-fume-mist/equipment/dust-collectors/cyclone/>



• Beneficios

- Se puede utilizar solo o con bolsas filtrantes. Sección de cono removible para un fácil reemplazo.

• Impacto ambiental

Resultan muchas veces indispensables para evitar peligrosas concentraciones de polvo que pudiesen generar atmósferas explosivas.

Zefiro cube 10 – Colector industrial

La función principal del colector de polvo industrial es aspirar el polvo en suspensión para asegurar la mejor salud aérea dentro del área de trabajo.

• Áreas en donde se utiliza

Constructores, químico farmacéutico, electrónica.

• Fabricante/ Marca



• DIMENSIONES

90 cm x 80 cm x 110 h

• CARACTERÍSTICAS

- Material: Fabricado en acero
- Peso: 145 Kg

• RENDIMIENTO

- Tipo de filtro: cartucho
- Capacidad de 5L
- Caudal de aire máximo: 2100 - 1350 m³/h

• EFICIENCIA

Fácil sustitución del filtro y alta eficiencia.

Link:

<https://www.delnvacuums.com/es/colectores-y-extractores-de-polvo/colector-industrial-polvos-nos-ze-ro-cube-10/ze-ro-cube-10.pdf>



• Beneficios

- Aspiración local gracias a un brazo articulado.
- Contenedor fácilmente desmontable para la eliminación segura del material recogido.

• Impacto ambiental

Evita la dispersión del polvo en el ambiente.

Bag Compact – Filtro de mangas

Equipo que permite separar las partículas sólidas de las gaseosas en suspensión.

• Áreas en donde se utiliza

Amoladura, arenado, vaciado de silos, corte de mármol, elaboraciones farmacéuticas.

• Fabricante/ Marca



• Componentes adicionales

- Tablero eléctrico de potencia para mando ventilador.
- Manómetro analógico para comprobar el atascamiento de las mangas.
- Temporizador cíclico con DP control incorporado (economizador)

• DIMENSIONES

-850 mm x 900 mm x 3620h

• CARACTERÍSTICAS

- Materiales filtrantes: poliéster, poliéster con teflón y poliéster antiestático.
- Potencia 1,5 kW

• RENDIMIENTO

-Caudal de aire 1800 m³/h

• EFICIENCIA

Emisiones ≤ 10 mg/Nm³s
Emisiones ≤ 5 mg/Nm³s bajo petición
Esto hacen referencia a la concentración de emisiones de ciertos contaminantes en gases de escape o efluentes

Link:

https://www.aspiracionyfiltracion.com/sites/default/files/producto/pdf/catalogo_filtros_de_mangas.pdf



• Beneficios

-Pueden operar con una amplia variedad de polvos.

• Impacto ambiental

Evitar la emisión de partículas nocivas a la atmósfera.

Extractor Colector Aspirador Polvo

Dispositivo diseñado para la captura y recolección de partículas en suspensión generadas en procesos industriales. Suele emplearse para mantener el ambiente limpio, y prevenir la acumulación de polvo en máquinas y equipos.

• Áreas en donde se utiliza

Carpintería

• Fabricante/ Marca



• Componentes adicionales

- Utiliza la tecnología de flujo rotativo.
- Equipado con un ventilador centrífugo multiaspas.

• DIMENSIONES

146 x 69 x 68 cm.

• CARACTERÍSTICAS

- Motor con bobina 100%. de cobre
- Chasis de lámina de acero al Carbon.
- Voltaje: 110v monofásico
- Peso: 52 kg.

• RENDIMIENTO

- Velocidad de viento: 35-40 m/s.
- Velocidad: 2,840 Rpm.
- Potencia: 3Kw = 4Hp.
- Tamaño mínimo de partículas: 0.5 micron.
- 2 Costales de polvo diámetro 470.
- Volumen de aire 3,150 M3/h
- Frecuencia: 60Hz

Link:

<https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-2690143374-extractor-colector-aspirador-polvo-de-router-cnc-laser-220v->



• Beneficios

-Colector de polvo amigable con el medio ambiente diseñado y producido con mejoras constantes.

• Impacto ambiental

Reducción de la contaminación del aire en interiores, prevención de la contaminación ambiental.

Anexo 11.0:

Tabla comparativa

	SISTEMA DE EXTRACCIÓN GENERAL	SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA
VENTAJAS	• Cobertura de áreas amplias, son ideales para controlar la calidad del aire en espacios grandes donde el polvo está disperso por toda el área. • El diseño y la instalación suelen ser más sencillos, ya que no requieren posicionamiento preciso en cada fuente de polvo. • No solo extraen polvo, sino que también mejoran la ventilación general al diluir gases, vapores y otros contaminantes en el aire.	• Capta el contaminante antes de que éste llegue a afectar el ambiente de trabajo • Trabaja con caudales sensiblemente inferiores • Altera en menor medida las condiciones termohigrométricas ambientales • Facilita mejor la depuración • Es aplicable a aerosoles • Puede garantizar atmósferas no explosivas con mayor facilidad • Evita el posible deterioro de equipos por contaminantes corrosivos
DESVENTAJAS	• No eliminan el polvo directamente en la fuente, lo que significa que las partículas pueden permanecer suspendidas en el aire más tiempo, afectando la salud de los trabajadores. • Para mover grandes volúmenes de aire, requieren sistemas más grandes y potentes, lo que puede resultar en un mayor consumo de energía. • Es menos efectivo para áreas donde el polvo se genera en puntos específicos, como en procesos de corte, lijado o pulido.	• Solo capturan polvo en áreas cercanas a la fuente, por lo que son ineficientes para controlar el polvo que se dispersa en otras partes del ambiente. • Necesitan ser colocados estratégicamente cerca de cada fuente de polvo, lo que puede aumentar los costos de instalación y mantenimiento. • Si los puntos de generación de polvo varían, se requiere un ajuste o reposicionamiento constante de los captadores.

Anexo 12.0:

Ventajas y desventajas de primeras propuestas

BOCETO 1

VENTAJAS

- Contención de polvo: la cabina ayudaría a mantener el polvo generado durante el pulido dentro de un área controlada, reduciendo el riesgo de inhalación de partículas.
- Protección adicional: además del control del polvo, la cabina protegerá a los trabajadores de peligros físicos, que podrían causar lesiones.
- Adaptación ergonómica: espacio adecuado para que los trabajadores coloquen las manos y puedan moverlas sin restricciones.
- Sistema de extracción de polvo: la incorporación de un extractor permite capturar y neutralizar las partículas de polvo.

DESVENTAJAS

- Incompatibilidad con los métodos de trabajo en los talleres: los trabajadores suelen apoyar las piedras en sus piernas debido al tamaño y peso de las piedras.
- Problemas de visibilidad: la acumulación de polvo en la cabina puede obstruir la vista, dificultando la precisión en el trabajo. Requeriría un sistema adicional de limpieza que no se había previsto.
- Complejidad en la fabricación y costos: el uso de policarbonato y la necesidad de termoformado podrían incrementar los costos de producción, haciendo este sistema menos accesible para los talleres.
- Adaptabilidad limitada: en muchos talleres se utiliza la misma máquina con dos extremos para que puedan trabajar dos operarios simultáneamente. Con el diseño de la cabina, sería necesario hacer ajustes, lo que implicaría que solo un operario podría trabajar por vez, afectando la productividad.

BOCETO 2

VENTAJAS

- Control del polvo: la estructura del tubo, junto con el sistema de expulsión y extractor, permitiría reducir significativamente la cantidad de polvo en el ambiente, mejorando la limpieza del espacio de trabajo y protegiendo la salud de los trabajadores.
- Seguridad: al contener el proceso dentro del tubo, se minimizaría riesgos de proyecciones de partículas o escombros, protegiendo al trabajador durante el lijado.
- Flujo de aire: el diseño de expulsión y extracción en los extremos ayuda a mantener una corriente de aire constante que facilita la captura del polvo en suspensión, evitando su dispersión en el área de trabajo.

DESVENTAJAS

- Ergonomía limitada: la necesidad de introducir las manos a través de las perforaciones puede resultar incómoda para algunos trabajadores, reduciendo la maniobrabilidad y generando fatiga en largos periodos de trabajo.
- Restricción en el manejo de piezas grandes: el diseño del tubo puede ser incompatible con el manejo de piezas muy grandes o pesadas, que habitualmente se apoyan en las piernas o el cuerpo para mayor control.
- Problemas de visibilidad: la poca luz natural dentro del tubo puede dificultar la observación precisa del trabajo en la pieza, afectando la calidad del lijado.
- Mantenimiento: el sistema requeriría un mantenimiento constante para limpiar el extractor y el expulsor de polvo, así como para asegurar que las perforaciones no se obstruyan.

Anexo 13.0:

Tipos de separadores ciclónicos

Existen diferentes criterios para clasificar los separadores ciclónicos: por su configuración geométrica, por su configuración de entrada y por su forma de su cuerpo.

Los ciclones se pueden clasificar en cuatro tipos de entradas de gas. Cada una de estas entradas ofrece ventajas y aplicaciones específicas, sin embargo, el principio fundamental de operación permanece en el mismo en todos los casos: uso de la fuerza centrífuga para la separación de partículas. Según la forma en que el gas es conducido hacia el interior del extractor, los ciclones se dividen en diferentes tipos de entrada.

Anexo 13.1: CICLÓN DE ENTRADA TANGENCIAL Y DESCARGA AXIAL

“Los ciclones de entrada tangencial y descarga axial representan el ciclón tradicional, éstos se pueden construir con diámetros más grandes, lo más frecuente es que éstos se encuentren entre los 600 y los 915 mm o un poco más” (Bahamondes, 2008, p. 24)

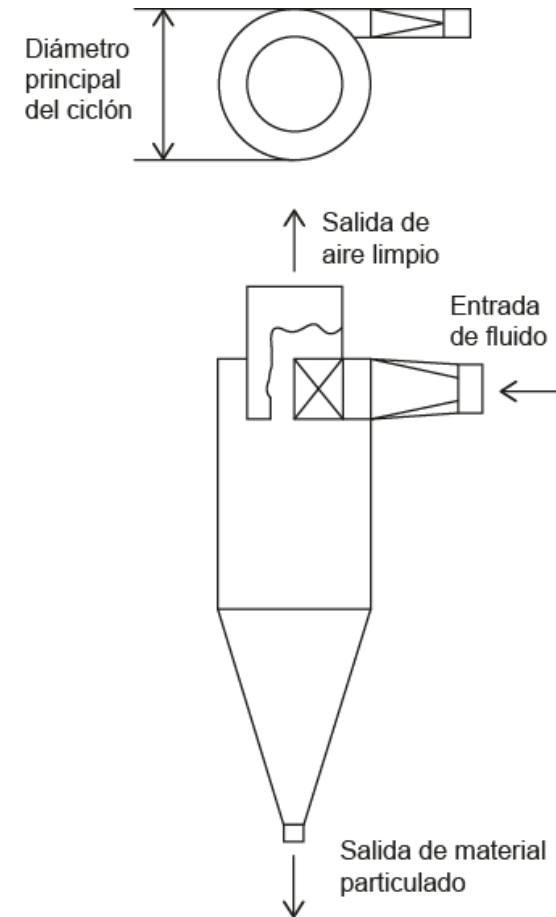


Figura. Ciclón de entrada tangencial y descarga axial. Fuente: Forkel

Anexo 13.2: CICLÓN DE ENTRADA Y DESCARGA AXIAL

“En los ciclones con entrada y descarga axial la diferencia fundamental se encuentra en que los diámetros son de menores dimensiones (entre 25 y 305 mm), con lo que gracias a esta característica su eficiencia es mayor aunque su capacidad es menor.” (Bahamondes, 2008, p. 24)

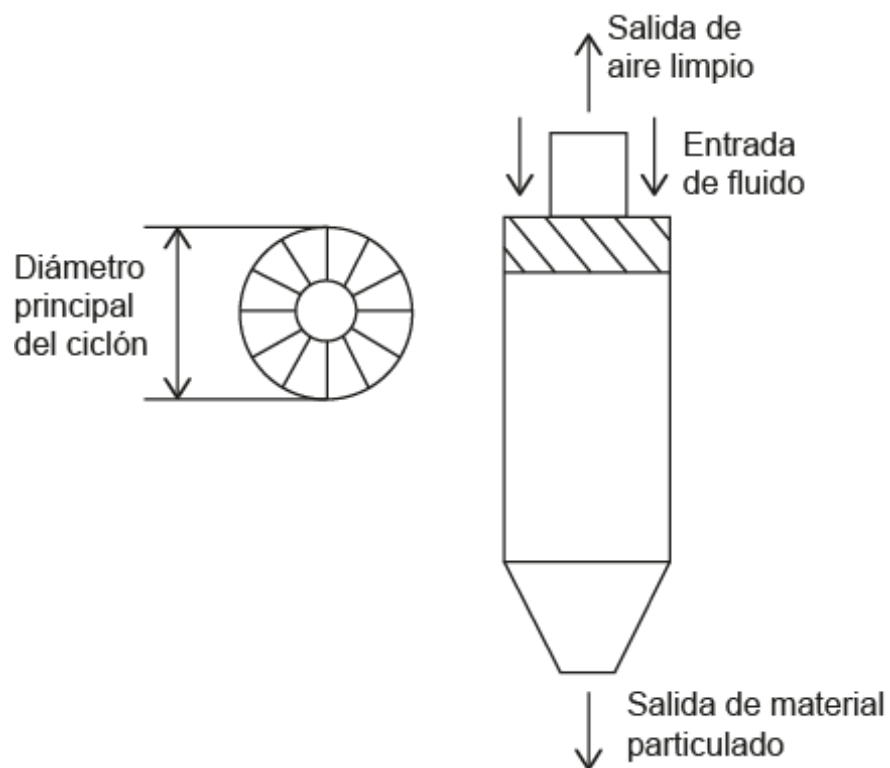


Figura. Ciclón de entrada y descarga axial. Fuente: Forkel

Anexo 13.3: CICLÓN DE ENTRADA TANGENCIAL Y DESCARGA PERIFÉRICA

“En los ciclones con entrada tangencial y descarga periférica, el gas sufre un retroceso en el interior del equipo al igual que ocurre en un ciclón convencional. Sin embargo, presenta el inconveniente de que el polvo no es eliminado en su totalidad de la corriente gaseosa, aunque sí se produce una concentración del mismo.” (Bahamondes, 2008, p. 25)

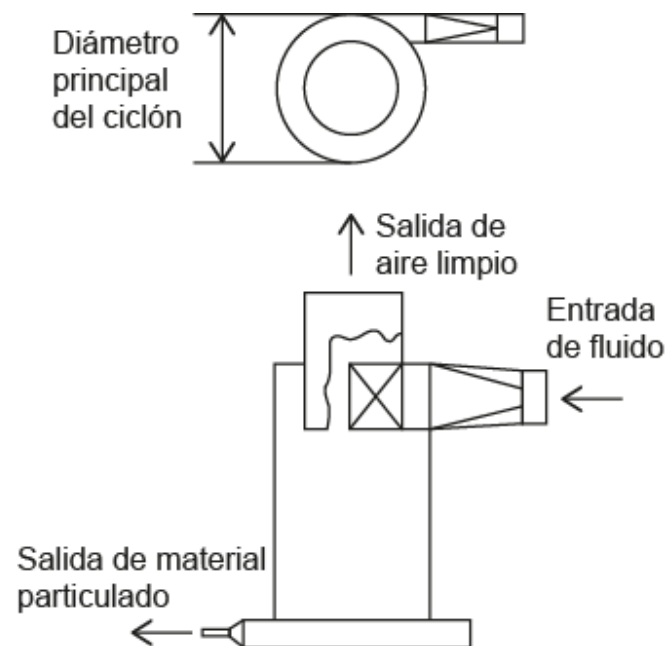


Figura. Ciclón de entrada tangencial y descarga periférica. Fuente: Forkel

ANEXO 13.4: CICLÓN DE ENTRADA AXIAL Y DESCARGA PERIFÉRICA

Por otra parte, los ciclones de entrada axial y salida periférica proporcionan un flujo directo que es muy adecuado para conectarlos a fuentes de gran volumen, donde los cambios en la dirección del gas podrían ser un inconveniente. Los primeros dos tipos son los más comunes y según estudios son los que presentan las mejores eficiencias. (Bahamondes, 2008, p. 26).

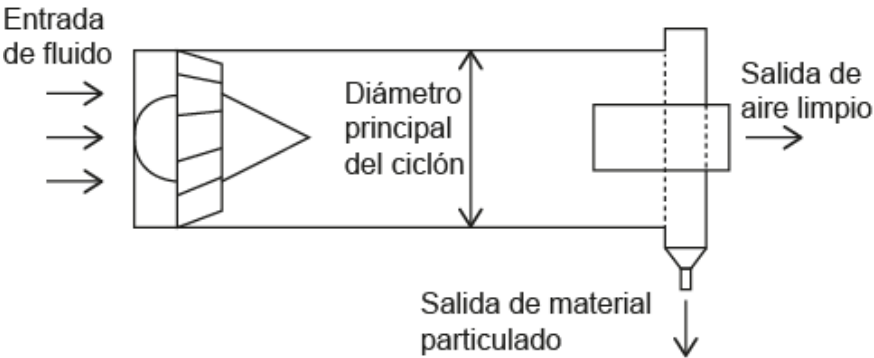


Figura. Ciclón de entrada axial y descarga periférica. Fuente: Forkel

ANEXO 13.5: CLASIFICACIÓN DE LOS CICLONES DE ENTRADA TANGENCIAL

Los ciclones se utilizan para controlar el material particulado, principalmente los mayores a 10 micras (μm), por este motivo hay otros tipos de ciclones que capturan partículas más pequeñas.

Tres clasificaciones: convencional, alta eficiencia y alta capacidad. En esta tabla se muestran los intervalos de eficiencia de remoción de partículas para diferentes tipos de ciclones según el tamaño de las partículas a remover. Las partículas están clasificadas en tres categorías:

- PST** (partículas suspendidas totales)
- PM10** (partículas con un diámetro inferior a 10 micrómetros)
- PM2.5** (partículas con un diámetro inferior a 2.5 micrómetros)

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencionales	70 - 90	30 - 90	0 - 40
Alta eficiencia	80 - 99	60 - 95	20 - 70
Alta capacidad	80 - 99	10 - 40	0 - 10

Figura. Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones. Fuente: ECHEVERRY LONDOÑO, Carlos Alberto.

Anexo 14.0:

Uso de codos

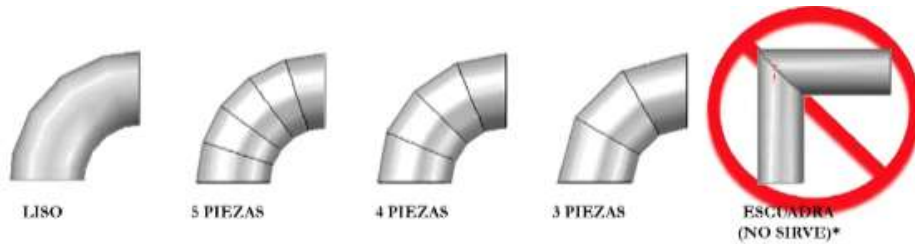


Figura. Ciclón de entrada axial y descarga periférica. Fuente: Air Quality de Mexico

Anexo 15.0:

Armado del sistema

Para el armado del sistema, primero fabricamos el ciclón. Para ello, creamos un molde que nos permitió dar forma a un tubo de PVC con entrada tangencial. Utilizando una pistola de calor, calentamos el tubo y lo moldeamos según el diseño del molde realizado.

A continuación, marcamos los diámetros de los demás tubos en el tanque para perforar los orificios correspondientes. Con la ayuda de la pistola de calor, embutimos los tubos en su lugar y los fijamos con un pegamento adecuado para este tipo de material. Posteriormente, cortamos los tubos a la medida deseada y ensamblamos el ciclón.

Para la base, modificamos la tapa del tanque eliminando una parte de su superficie, de manera que pudimos aprovechar la circunferencia como soporte para pegar la sección cónica del ciclón. Para fabricar esta parte cónica, primero realizamos un molde en cartón y luego lo recortamos sobre una lámina de PVC. También hicimos el orificio en el recipiente contenedor y lo fijamos correctamente.

Las demás partes del sistema fueron construidas utilizando estructuras de varillas, las cuales luego recubrimos con PVC y pegamos para dar estabilidad. Finalmente, al momento de realizar la prueba en el taller, llevamos a cabo algunos ajustes para asegurar que todos los componentes del sistema quedaran correctamente posicionados.







Anexo 16.0:

Costos aproximados

En esta sección se presentan los costos de los materiales utilizados en la fabricación del dispositivo.

Algunos de los elementos fueron reciclados, por lo que no generaron costo adicional. Los materiales restantes fueron adquiridos en la ciudad de Artigas, permitiendo así estimar un valor más realista y accesible para los talleres locales que deseen replicarlo.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO
Caño de PVC 100 mm	7000 mm	\$1171
Caño de PVC 60 mm	1000 mm	\$100
Codo PVC 100 mm 45°	2	\$222
Chapa 18 mm	2000 x 1000 mm	\$3945
Tanque de polietileno de alta densidad 320 x 480 mm	1	\$ 330
Balde	1	\$180
Turbina	1	\$8500
Total		\$14.448

Tabla. Precios aproximados de materiales utilizados. Fuente: elaboración propia

Anexo 17.0:

Características de los ciclones de alta eficiencia

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.2	0.21	0.2
Altura de salida	S/Dc	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración	G	551.22	698.65	585.71
Número cabezas de velocidad	NH	6.4	9.24	6.4
Número de vórtices	N	5.5	6.0	5.5

Tabla. Características de los ciclones de alta eficiencia . Fuente: Echeverri

FOTOS TOMADAS DURANTE EL PROCESO













