



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA

Diseño de una máquina fundidora para disminuir los residuos
sólidos de aluminio en la provincia de Chiclayo

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Eléctricista

AUTORES:

Aguilar Chavez, Delvis Omar (orcid.org/0000-0002-2455-5620)

Bustamante Tenorio, Carlos Jesus (orcid.org/0000-0001-8695-6713)

ASESOR:

Dr. Celada Padilla, James Skinner (orcid.org/0000-0002-5901-2669)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Dios, por acompañarnos en cada circunstancia y paso que damos en nuestra vida, permitiéndonos lograr esta meta profesional.

A nuestros padres, esposas e hijos, por su apoyo en cada circunstancia, por creer en nosotros, por ser el motivo y la inspiración para lograr nuestros objetivos.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la plana docente de la Universidad César Vallejo de la sede Chiclayo, por contribuir con nuestra formación académica, durante el tiempo que conllevó culminar la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Agradecemos a nuestro asesor de tesis por su guía continua, por sus observaciones acertadas que permitieron entregar un informe de tesis con carácter tecnológico, según los estándares académicos que se exigen en la actualidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	10
3.1. Tipo y diseño de investigación	10
3.2. Variables y operacionalización	10
3.3. Población, muestra y muestreo	10
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	11
3.5. Procedimiento	11
3.6. Método de análisis de datos	12
3.7. Aspectos éticos	12
IV. RESULTADOS	13
V. DISCUSIÓN	54
VI. CONCLUSIONES	59
VII. RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS	61
ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas e instrumentos de recojo de datos	11
Tabla 2. Residuos sólidos en la municipalidad provincial de Chiclayo	13
Tabla 3. Porcentajes de los residuos sólidos en la provincia de Chiclayo	14
Tabla 4. Residuos de aluminio por habitante de la provincia de Chiclayo	14
Tabla 5. Proyección de residuos de aluminio para la provincia de Chiclayo	16
Tabla 6. Lista de requerimientos del sistema de compactación	18
Tabla 7. Valores de ponderaciones para la selección del concepto de diseño	23
Tabla 8. Evaluación de los conceptos de diseño de compactación	24
Tabla 9. Requerimientos técnicos del sistema de compactación	25
Tabla 10. Fuerza de vástago para diámetros de embolo y vástago	26
Tabla 11. Dimensiones relevantes del sistema de compactación	29
Tabla 12: Resultados del cálculo hidráulico	33
Tabla 13. Resultados de espesores ejercidos en la camara de compactación	39
Tabla 14. Costos de inversión para el diseño del horno de fundición	50
Tabla 15. Gastos operativos del horno de fundición	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Horno de crisol para la fundición de residuos sólidos de aluminio	7
Figura 2. Horno de fundición reverbero de diversos metales no ferrosos	8
Figura 3. Horno de fundición rotativo para la fundición de metales	8
Figura 4. Horno de solera para fundición de metales reciclados	9
Figura 5. Horno de fundición eléctrica de inducción para metales	9
Figura 6. Proyección de los residuos de aluminio en la provincia de Chiclayo	15
Figura 7. Estructura de funciones del sistema de compactación	19
Figura 8. Matriz morfológica	20
Figura 9. Concepto de solución N°1 para el sistema de compactación	21
Figura 10. Concepto de solución N°2 para el sistema de compactación	22
Figura 11. Concepto de solución N°3 para el sistema de compactación	23
Figura 12. Bloque de residuos de aluminio comprimido	25
Figura 13. Esquema de pistón hidráulico	26
Figura 14. Dimensiones del sistema de compactación	29
Figura 15. Relación del caudal y presión de servicio	30
Figura 16. Circuito hidráulico de compactación de residuos de aluminio	34
Figura 17: Direcciones en la compactación de los residuos de aluminio	35
Figura 18. Bisagras de la puerta de expulsión	39
Figura 19. Soporte principal de la compactadora	41
Figura 20. Perfil estructural para los elementos estructurales	42
Figura 21: Esquema de los esfuerzos de compresión y flexión	43
Figura 22. Estado de esfuerzo bidimensional sometido a compresión	43
Figura 23. Circuito eléctrico del sistema de compactación	46
Figura 24. Partes de un horno crisol para la fundición de residuos de aluminio	47
Figura 25. Quemador de gas natural	49

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo diseñar una máquina fundidora para disminuir los residuos sólidos de aluminio en la provincia de Chiclayo. La metodología es aplicada con diseño preexperimental. Resultando que la ciudad de Chiclayo desecha 731.56 TM de residuos de aluminio por año, representando el 7.72% del total de residuos sólidos generados. Asimismo, el concepto de diseño de la compactación automática en acción vertical, fue la mejor propuesta por poseer los mejores requerimientos del diseño. Procesando 83.51 Kg/h de residuos sólidos de aluminio, en bloques de 800x400x400 mm. El sistema de compactación tiene dimensiones de 2000x1000x400 mm, rapidez de 6 bloques/día y fuerza de compresión de 10 toneladas. El motor que acciona el sistema hidráulico es de 4 HP para un caudal de 7 l/minuto. Para el horno, el crisol es de refractario de dimensiones 260x204x145 mm, para fundir 41.76 Kg cada 30 minutos. Asimismo, el quemador es de una potencia de 59 KW, con un consumo de gas natural de 2.05 Kg/h. Se concluye que el proyecto es factible económicamente con un costo – beneficio de 64.35, es decir que, por cada sol invertido, se obtiene una utilidad de 64.35 soles, generando rentabilidad para la municipalidad provincial de Chiclayo.

Palabras clave: máquina fundidora, residuos de aluminio, residuos sólidos.

ABSTRACT

The objective of this study was to design a smelting machine to reduce solid aluminum waste in the province of Chiclayo. The methodology is applied with a pre-experimental design. Resulting in the city of Chiclayo discarding 731.56 MT of aluminum waste per year, representing 7.72% of the total solid waste generated. Likewise, the design concept of automatic compaction in vertical action was the best proposal because it had the best design requirements. Processing 83.51 Kg/h of solid aluminum waste, in blocks of 800x400x400 mm. The compaction system has dimensions of 2000x1000x400 mm, speed of 6 blocks/day and compression force of 10 tons. The motor that drives the hydraulic system is 4 HP for a flow rate of 7 l/minute. For the oven, the crucible is made of refractory with dimensions 260x204x145 mm, to melt 41.76 Kg every 30 minutes. Likewise, the burner has a power of 59 KW, with a natural gas consumption of 2.05 Kg/h. It is concluded that the project is economically feasible with a cost - benefit of 64.35, that is, for each sole invested, a profit of 64.35 soles is obtained, generating profitability for the provincial municipality of Chiclayo.

Keywords: smelting machine, aluminum waste, solid waste.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, la gestión de residuos sólidos son el mayor desafío para quienes administran una ciudad. La eliminación de residuos sólidos es una problemática punzante y generalizado en la municipalidad de muchos países en subdesarrollo y en desarrollo. Este problema se debe a que la gestión de residuos sólidos por parte de las instituciones encargadas, no es técnica y financieramente sostenibles, tampoco legalmente aceptables y respetuosas con el medio atmosférico (Izquierdo, 2022). Asimismo, se estima que para el año 2050 los residuos sólidos crecerán un 70% respecto a los valores actuales, por lo cual deben tomarse las medidas urgentes por las autoridades encargadas (Schrader, 2022).

Dentro de los diversos sólidos residuales urbanos (SRU), los residuos de aluminio son el material con mayor impacto económico en el proceso de reciclaje, debido a que este no pierde sus propiedades, antes y después de su uso. Pero los residuos de aluminio desechados en los vertederos son una problemática ambiental grave, debido a que generan calor, gases peligrosos y lixiviados líquidos, como el amoníaco, sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono, calentando (Brough, 2020).

En el Perú, la gestión de residuos sólidos por parte de las municipalidades es deficiente, y esto empeora cada día con el excesivo consumismo de la sociedad, que va más allá de las necesidades básicas que ésta requiere. Actualmente a nivel nacional se están generando 21 mil toneladas de RSU, lo cual indica que en promedio cada peruano genera 0.8 Kg de residuos por día (MINAM, 2023). Donde solo se recicla el 1.9% del total de residuos sólidos aprovechables. Asimismo, en el Perú solo se recicla en promedio el 15% de los residuos de aluminios del total generado, donde el restante 75% termina en los botaderos y vertederos (RENAMU, 2022).

La producción de aluminio es uno de los procesos industriales que genera la mayor contaminación, para producir un 1 kilogramo se necesitan 15 KWh de energía y se emiten una gran cantidad de dióxido de azufre y vapores de alquitrán, que generan la lluvia ácida, perjudicando el medio ambiente, por lo

cual es relevante su reciclaje, reduciendo el 94% del costo energético que supondría producirlo de nuevo (Bagawan et al, 2021).

La situación descrita no es ajena, a la problemática de gestión ambiental que sufre la municipalidad provincial de Chiclayo, en la cual se generan en promedio 8550 TM anuales de residuos sólidos, donde 750 TM en promedio son residuos de aluminio, los cuales terminan en los botaderos de basura, no existiendo un manejo adecuado para su correcto reciclaje, por ello se propone el diseño de una máquina fundidora de residuos de aluminio para contribuir con el impacto ambiental y crear una economía circular a través de éstos residuos, para el beneficio de la municipalidad provincial de Chiclayo.

A consecuencia de lo descrito se plantea el siguiente **problema general**: ¿En qué medida el diseño de una máquina fundidora permitirá disminuir los residuos de aluminio en la provincia de Chiclayo? Y como **problemas específicos**: ¿Cómo determinar la capacidad máxima de los residuos de aluminio para el diseño de la máquina fundidora? ¿Cuál sería el diseño óptimo del sistema de compactación de residuos de aluminio para su mejor manejo, en el proceso de fundición? ¿Cuáles serían las características técnicas de diseño del sistema de compactación de residuos de aluminio? ¿Cuáles serían las características técnicas del sistema de fundición de los residuos de aluminio? ¿Cómo determinar el costo - beneficio para el diseño de la máquina fundidora de aluminio?

Como respuesta al problema general se planteó la siguiente **hipótesis general**: El diseño de máquina fundidora permitirá disminuir los residuos sólidos de aluminio en la provincia de Chiclayo. Y como **hipótesis específicas**: El análisis de los residuos de aluminio generados en la provincia de Chiclayo, permitirá definir la capacidad máxima de la máquina fundidora. La propuesta de 3 conceptos permitirá obtener un diseño óptimo para el sistema de compactación de los residuos de aluminio. El dimensionamiento y selección de los componentes estructurales, mecánicos y eléctricos del sistema de compactación de residuos de aluminio, permitirá obtener sus características técnicas. El dimensionamiento y selección de los componentes del sistema de fundición de los residuos de aluminio, permitirá obtener sus características técnicas. El

análisis costo – beneficio, permitirá determinar la factibilidad de la máquina de fundición de residuos de aluminio generados en la provincia de Chiclayo.

La investigación se **justificó** a través 4 criterios: conveniencia, teórico, social y metodológico. Por *conveniencia*, se dará una solución a un problema específico como la reutilización de los sólidos residuales de aluminio, para mejorar las condiciones del entorno ambiental de la provincia de Chiclayo. Desde el criterio *teórico*, se propone una mejor alternativa en el tratamiento de los residuos de aluminio, mediante el proceso de fundición. Para de esta manera obtener recursos económicos para la municipalidad provincial de Chiclayo a través de los residuos de aluminio. Desde el criterio *social*, permite mejorar el manejo de la gestión de residuos de aluminio de la municipalidad provincial de Chiclayo y reducir el impacto ambiental. Y desde el criterio *metodológico*, esta investigación se enfoca en un nuevo procedimiento para la fundición de residuos de aluminio, lo cual crea una base académica científica para estudios posteriores. Asimismo, cabe indicar que las municipalidades en el Perú carecen de una máquina para fundir aluminio como una manera de hacerle frente al impacto ambiental, produciendo recursos económicos a través de este residuo.

Como respuesta al problema, se planteó el siguiente **objetivo general**: Diseñar una máquina fundidora para disminuir los residuos sólidos de aluminio en la provincia de Chiclayo. Y como **objetivos específicos**: 1) Realizar un análisis de los residuos de aluminio generados en la provincia de Chiclayo, para definir la capacidad máxima de la máquina fundidora. 2) Proponer 3 conceptos de diseño para el sistema de compactación de los residuos de aluminio. 3) Dimensionar y seleccionar los componentes estructurales, mecánicos y eléctricos del sistema de compactación de residuos de aluminio. 4) Dimensionar y seleccionar los componentes del sistema de fundición de los residuos de aluminio. 5) Realizar un análisis costo - beneficio para la factibilidad de la máquina de fundición de residuos de aluminio generados en la provincia de Chiclayo.

II. MARCO TEÓRICO

Este estudio se basa en los siguientes **antecedentes** internacionales y nacionales, extraídos de artículos académicos científicos de bases de datos como Scopus, Web de la Ciencia, Ciencia Direct, Scielo y otros; relacionados con las variables de investigación.

El investigador Subarjo (2021) realizó el diseño de un horno de fundición de metales de aluminio. La metodología fue experimental pura. Empleo como instrumento una ficha de registro. Y la muestra estuvo constituida por residuos de aluminio para el proceso de fundición. Los resultados encontrados demostraron que, para fundir 1000 gr de residuos de aluminio, se necesita de una temperatura estable de 707°C en un tiempo de 25 minutos, asimismo los residuos de aluminio para una mejor fundición deben estar compactados, permitiendo tener una mejor transferencia de calor por convección. Las dimensiones del horno son: 30 cm de diámetro interior y altura de 15 cm, con un espesor de pared 7.38 cm. Para la combustión se empleó como combustible GLP en una relación de 0.6 kg por cada 1 kilogramo de aluminio fundido. Concluyendo que el diseño es satisfactorio con un factor de seguridad de 2.5, pudiendo obtener una eficiencia del proceso de fundición del 91.19%.

Los investigadores Melwyn, et al. (2023), realizaron el diseño de un horno de fundición de chatarra de aluminio. La metodología empleada fue aplicada – experimental. Los instrumentos empleados fueron la guía de observación y registro. La muestra fue 100 Kg de chatarra de aluminio. Los resultados indican que la temperatura adecuada para fundir los residuos de aluminio es de 700°C durante un periodo de 30 minutos, para de esta manera obtener la menor cantidad de escoria. El horno empleado fue de tipo crisol con un rendimiento del 95% con una potencia de 22 KW. El sistema de compactación, se realizó con bloques de aluminio de 550x220x220 mm, con 10 bloques/día, para lo cual requirió de un motor eléctrico de 2 HP con factor de seguridad de 1.85. Concluyendo que la fundición es viable para obtener lingotes de 8 mm de diámetro y 10 mm de altura, con un porcentaje de escoria inferior al 5%.

El autor Radu (2023), realizó un estudio de la eficiencia energética de la fundición de chatarra de aluminio. La metodología empleada fue cuasi-experimental, tipo aplicada. Las técnicas empleadas fueron el análisis documental y la observación de hechos. La muestra estuvo constituida por chatarra de aluminio generada por empresas industriales. Los resultados muestran que para fundir el aluminio eficientemente este debe someterse a un entorno de combustión con una temperatura mínima de 650°C, para de esta manera obtener una eficiencia en el proceso, entre el 90 a 95%. Se concluye que los hornos de gas, tienen una mayor ventaja frente a los hornos de fundición eléctricos, con un ahorro del 36% de la energía.

El Investigador Tjiroso (2020) realizó el diseño de un horno de fusión de aluminio a escala de laboratorio. La metodología fue de diseño experimental, tipo aplicada. El instrumento empleado fue una ficha de registro. La muestra estuvo formada por residuos de aluminio. Los resultados indicaron que se puede fundir 0.5 Kg de aluminio, empleando la cáscara de coco para una fundición lenta de 55 minutos para lograr una temperatura de 690°C. El horno estuvo fabricado de ladrillo refractario, y para la correcta circulación de los gases de empleo un ventilador inducido. Se concluye que el proceso para fundir aluminio debe efectuarse con mayor velocidad de calentamiento, para evitar la presencia excesiva de la escoria.

Los investigadores Rasul, et al. (2022) realizaron el diseño de una fundición de aluminio con aislamiento de fibra cerámica. La metodología empleada fue experimental pura y de tipo aplicada. Las técnicas empleadas fueron el análisis documental y la observación de campo. La muestra fue residuos de aluminio. Los resultados indicaron que para fundir 3 Kg de residuos de aluminio se necesita de una energía de 6.9 MJ, con temperaturas de fusión entre 810 a 910°K. Empleando como fuente de calentamiento un serpentín de calentamiento eléctrico con un consumo de 16 A. Concluyendo que para grandes producciones de fundición de aluminio se debe emplear gas natural o gas licuado de petróleo, para una mejor confiabilidad en calidad y eficiencia del proceso.

Los investigadores Rezani et al. (2020) realizaron el rediseñaron un mini horno de crisol compacto para mejorar su eficiencia. La metodología de investigación fue aplicada – experimental – longitudinal. La muestra fue residuos de aluminio.

Los resultados encontrados mostraron que el mejor aislamiento para este horno es la con la cerámica D.96, reduciendo de esta manera el peso en un 28%. Asimismo, por cada 3 Kg de aluminio fundido, se gastan 1.2 Kg de gas licuado de petróleo (GLP) en un tiempo de 35 minutos. Concluyendo que este tipo de hornos permite un beneficio económico, superior a otros hornos.

Este estudio presenta las siguientes **teorías y enfoques conceptuales**, respecto a las variables de estudio, lo cual es una síntesis de artículos académicos científicos, libros de diseño de máquinas y normas técnicas de diseño.

El aluminio, como elemento es el segundo más abundante en el planeta. Y en la actualidad se emplea en cualquier aplicación de la ingeniería. Debido a las buenas propiedades para el diseño de máquinas, por ser un material ligero, resistencia a los fenómenos de corrosión. Sus aplicaciones se encuentran en los sectores de la construcción, transporte, industria aeroespacial, electricidad y medicina (Timelli, 2020).

El proceso de fundición, consiste en transformar el estado de sólido de un elemento, conllevándolo a un estado líquido, mediante el calentamiento a elevadas temperaturas de fusión. Donde el líquido se enfría de manera constante o rápida en un molde, para solidificarse y de esta manera adoptar la forma deseada (Da Costa, 2022).

Residuos sólidos, son aquellos elementos desechados tras haberse empleado durante su vida útil, careciendo por si solos de un valor económico. Estos residuos son procedentes de la fabricación, transformación y del empleo como bienes de consumo (Padamata, 2021).

El reciclaje de residuos de aluminio, es un proceso sistemático del aluminio desechado, luego de haber sido empleado como sostenimiento de algún producto consumible por la sociedad, el cual puede ser rehusado debido a sus ventajosas propiedades mecánicas (Yang, 2023).

La nueva ley de gestión integral de residuos sólidos D.L. N°1278, invoca a reducir los residuos sólidos como una primera necesidad, dándole una mayor eficiencia al uso de los materiales, donde los residuos sean vistos como un recurso y no

como amenazas. Por lo cual se invoca a las municipalidades y ciudadanos a innovar en proyectos tecnológicos para generar un valor económico mediante una economía circular (MINAM, 2023).

Para el diseño de hornos de fundición tenemos 5 clasificaciones usadas generalmente en el Perú, estas son: crisol, reverbero, rotativos, solera y eléctricos.

Los hornos de crisol, son recipientes herméticos hechos de arcilla con grafito y hierro fundido, para evitar las pérdidas de calor por conducción por las paredes laterales al medio ambiente. Este tipo de hornos puede emplear como combustible GN, GLP, petróleo residual R-6 o R-500. Se emplea para producción de fundición de aluminio entre 50 a 150 Kg/h y son de gran eficiencia. El porcentaje de escoria obtenido es inferior a 5% (Haruna, 2022). En la figura 1, se observa un horno de crisol empleado en la fundición de residuos sólidos de aluminio



*Figura 1. Horno de crisol para la fundición de residuos sólidos de aluminio.
Fuente: Extraído de Haruna (2022).*

Los hornos de reverbero, son empleados para la fundición de diversos metales no ferrosos (aluminio, bronce, cobre y latón) en grandes producciones, tiene dimensiones que van desde anchos, entre 1.5 a 3 m, y longitud de 5 a 15 m. Su empleo es por lo general para chatarra de grandes dimensiones. Emplea para producciones de 5000 a 10000 Kg/h (Flores et al., 2021). El porcentaje de escoria que se logra esta entre 7 a 10%. En la figura 2, se muestra un horno de reverbero industrial.



*Figura 2. Horno de reverbero para la fundición de diversos metales no ferrosos.
Fuente: Extraído del Flores et al. (2021).*

Los hornos de fundición rotativos, están formados por una envoltura cilíndrica de material de acero al carbono, con un eje de rotación, que termina con dos conos truncados. Uno ubicado en el lado del quemador y el otro en la salida de los gases residuales quemados. Este tipo de quemadores es empleado para producción de fundición media que van desde los 500 kg/h a 800 Kg/h. El nivel de escoria es menor al 12% (Capra, 2020). Son de menor eficiencia entre 85 a 88%. Donde el interior del horno esta revestido de ladrillo refractario.



*Figura 3. Horno de fundición rotativo para la fundición de metales
Fuente: Extraído de Capra (2020)*

Los hornos de solera, se emplean tanto para fundir como para conservar el calor y utilizarlo en otro proceso. Asimismo, son calentados por combustibles. Su diseño es uno de los más complicados. Generan demasiada escoria entre 14 a 16%, su proceso de calentamiento es lento con temperaturas entre 250 a 500°C. Se emplean por lo general para aprovechar el calor residual. Tienen un diseño automatizado complejo y de alto presupuesto económico (Guo, 2021). En la figura 4, se observa un horno de solera de fundición de metales reciclados.



*Figura 4. Horno de solera para fundición de metales reciclados.
Fuente: Extraído de Guo (2021).*

Los hornos de fundición eléctricos, son de tipo inductivos originando calor directamente a la pieza a fundir, pudiendo acelerar el proceso en tiempos entre 8 a 15 minutos para obtener una colada con una temperatura entre 700 a 1000°C. Contienen resistencias eléctricas que permiten regular la velocidad de calentamiento, pero al costo de un elevado gasto de energía eléctrica. Se pueden emplear en cualquier rango de producción de fundición de metales. En la figura 5, se muestra un horno eléctrico de inducción. Asimismo, su diseño los coloca como los hornos de fundición más caros, por la ventaja de obtener la mínima cantidad de escoria inferior al 2% (García, 2021).



*Figura 5. Horno de fundición eléctrica de inducción para metales
Fuente: Extraído de García (2020).*

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

La investigación es de **tipo aplicada**. La investigación es aplicada porque busca solucionar un problema de impacto ambiental para la ciudad de Chiclayo, basado en el diseño de una máquina fundidora de residuos de aluminio, para lo cual se hizo uso de la base científica de la ingeniería de diseño de máquinas, como teorías y normas con la finalidad de resolver una problemática específica.

Diseño de investigación

La investigación es de **diseño no experimental**. La investigación es de diseño no experimental porque no se manipularán las variables, donde se busca la correspondencia de la variable independiente “Diseño de máquina fundidora” en la variable dependiente “Residuos sólidos de aluminio”, para establecer una mejora en la gestión de residuos de aluminio en la municipalidad provincial de Chiclayo.

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: Diseño de máquina fundidora

Variable dependiente: Residuos sólidos de aluminio

La operacionalización de variables se muestra en el anexo 1.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población: Residuos de aluminio del departamento de Lambayeque.

Criterios de inclusión:

- Residuos de aluminio generados por empresas e industria del departamento de Lambayeque.
- Residuos de aluminio como producto final de su vida útil, después del uso por parte de la ciudadanía del departamento de Lambayeque.

Criterios de exclusión:

- Residuos de aluminio generados fuera de la jurisdicción del departamento de Lambayeque.

- Residuos que contengan pequeños porcentajes de aluminio.

Muestra: Residuos de aluminio generados en la municipalidad provincial de Chiclayo.

Muestreo: No probabilístico (Por conveniencia). Donde se consideró a la provincia de Chiclayo, por ser la mayor generadora de residuos de aluminio sobre la demás provincia de Lambayeque.

Unidad de análisis: Residuos de metal de aluminio.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 1. Técnicas e instrumentos de recojo de datos

Técnica	Instrumento
Análisis documentario	Guía de Registro
Observación de campo	Guía de observación

Fuente: Elaborado por los autores

El análisis documentario, mediante la guía de registro nos permitió obtener datos, como la cantidad de residuos de aluminio generados en la provincia de Chiclayo en un periodo de tiempo. Asimismo, permitió registrar los tipos de residuos de aluminio y su porcentaje respecto a otros residuos sólidos generados en esta provincia.

La observación, a través de la guía de observación, nos permitió corroborar la necesidad de una máquina fundidora, frente a la excesiva generación de residuos de aluminio en la provincia de Chiclayo.

3.5. Procedimiento

- Se solicitó el permiso al centro de gestión ambiental de la municipalidad provincial de Chiclayo, para la obtención de los datos registrados de residuos de aluminio y otros.
- Se solicitó un historial de los residuos de aluminio, obteniendo datos entre los periodos 2015 hasta 2022 (8 años), para realizar una proyección de crecimiento de estos sólidos en el tiempo. Este procedimiento permitió la elaboración de la guía de registro.
- Se aplicó la observación de campo, para constatar la excesiva generación de residuos de aluminio, frente a otros en la ciudad de Chiclayo.

- Los datos recolectados permitieron definir la capacidad del aluminio reciclado para su función. Y de acuerdo a ello dimensionar y seleccionar los principales elementos mecánicos y eléctricos de la máquina fundidora.
- Los elementos de máquinas de la máquina fundidora fueron analizados mediante un análisis estático y de fatiga, para definir un óptimo factor de seguridad, resistencia mecánica y mínima deformación mecánica.
- Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad económica basado en beneficio/costo, para la viabilidad técnica, económica y financiera del diseño de la máquina fundidora de residuos de aluminio.

3.6. Método de análisis de datos

Para el análisis de los datos a través de los instrumentos de recojo de información, fue necesario tabularlos en tablas de frecuencia y gráficos (barras, circular y dispersión) en el software Excel, para una mejor representación de cada uno de los resultados de los objetivos específicos, que se plantearon. Asimismo, se empleó este mismo software para el análisis económico (beneficio e inversión) y financiero (valor actual neto y tasa de rentabilidad), y de esta manera definir la viabilidad del estudio.

3.7. Aspectos éticos

Los autores de esta presente investigación se comprometieron a respetar la propiedad intelectual de las investigaciones académicas realizada por otros autores, con la finalidad de no incurrir en el plagio académico, presentando un informe de tesis, auténtico y verás.

IV. RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESIDUOS DE ALUMINIO GENERADOS EN LA PROVINCIA DE CHICLAYO.

El análisis de residuos de aluminio generados en la provincia de Chiclayo, nos permitirá definir la capacidad máxima de producción diaria de residuos de aluminio para la máquina fundidora.

Para realizar un análisis de los residuos de aluminio generados por la población de la provincia de Chiclayo, es necesario definir como la masa de estos cambia en el tiempo, de acuerdo al crecimiento poblacional.

En la tabla 2, se observan los diversos residuos sólidos como reciclaje por la municipalidad provincial de Chiclayo en toneladas métricas (MT), desde el año 2015 al 2022, donde se denota una cantidad significativa de residuos de aluminio para un proceso de fundición. Asimismo, se muestra que el residuo sólido con mayor masa reciclada es la chatarra (partes o secciones de artefactos eléctricos y máquinas), seguido de los metales cobre, bronce y acero; y en tercer lugar tenemos a los residuos de aluminio (residuos de bebidas, depósitos, aerosoles, bandejas, chapas y tapas). En cuarto lugar, se encuentra el papel y cartón (de color, blanco, mixto y periódico), seguido en menores cantidades por los residuos de madera y vidrio.

Tabla 2. Residuos sólidos en toneladas métricas registrados como reciclaje por la municipalidad provincial de Chiclayo.

Año	Papel y cartón	Metales			Vidrio	Madera
		Chatarra	Aluminio	Cobre, bronce y acero		
2015	463.57	4152.58	652.92	1958.77	156.70	175.51
2016	478.17	4325.13	655.03	2030.58	164.48	185.86
2017	492.85	4500.06	657.14	2102.83	170.75	194.66
2018	507.62	4677.40	659.25	2175.53	176.87	203.40
2019	522.49	4857.15	661.38	2248.68	183.04	212.33
2020	537.44	5039.34	663.51	2322.28	190.22	222.55
2021	552.49	5223.98	665.65	2396.32	197.03	232.49
2022	567.62	5411.10	667.79	2470.82	203.92	242.66

Fuente: Centro de gestión ambiental de la municipalidad provincial de Chiclayo, 2022.

En la tabla 3, se muestran los porcentajes generados por cada residuo sólido, donde se observa que los residuos de aluminio ocupan el tercer lugar con un porcentaje de 7.72%, por debajo de los residuos de chatarra con 55.82% y metales como cobre, bronce y acero con 25.88%. Asimismo, se puede indicar que entre los años 2015 y 2022, se ha generado 68409.92 TM de residuos sólidos, de los cuales 5282.65 TM/año pertenecen a los residuos de aluminio.

Tabla 3. Porcentajes de los residuos sólidos registrados como reciclaje por la municipalidad provincial de Chiclayo.

Residuos sólidos	Cantidad acumulada durante los años	
	2015 – 2022 (Toneladas)	Porcentaje global
Chatarra	38186.75	55.82%
Cobre, bronce y acero	17705.81	25.88%
Aluminio	5282.65	7.72%
Papel y cartón	4122.25	6.03%
Madera	1669.46	2.44%
Vidrio	1443.00	2.11%
Total	68409.92	100.00%

Fuente: Centro de gestión ambiental de la municipalidad provincial de Chiclayo, 2022.

En la tabla 4, se muestra el crecimiento poblacional de la provincia de Chiclayo en función de la cantidad de residuos de aluminio. Donde se puede afirmar que la cantidad de residuos de aluminio generados en un día por cada habitante en promedio es de 0.003 Kg/día/hab. Asimismo se puede observar, que mientras la población aumenta, existe un ligero aumento en la producción de residuos de aluminio.

Tabla 4. Residuos de aluminio por habitante de la provincia de Chiclayo.

Año	Población	Residuos de aluminio (TM/año)	Residuos de aluminio (Kg/día)	Residuos de aluminio (Kg/día/hab.)
2015	552887	652.92	1788.82	0.003235
2016	560628	655.03	1794.60	0.003201
2017	568477	657.14	1800.38	0.003167
2018	576435	659.25	1806.16	0.003133
2019	584505	661.38	1812.00	0.003100
2020	592689	663.51	1817.84	0.003067
2021	600986	665.65	1823.70	0.003035
2022	609400	667.79	1829.56	0.003002

Fuente: Centro de gestión ambiental de la municipalidad provincial de Chiclayo, 2022. Historial poblacional de Chiclayo extraídos del INEI (2022).

Es necesario, realizar una proyección de los residuos de aluminio, según el tiempo de vida útil estimado de la máquina. Los autores Sheikh (2020), Hurtado (2023) y Nasimba (2020), especifican que la producción de una máquina debe diseñarse mediante el parámetro de su vida útil, es decir el promedio de vida útil de una máquina fundidora que trabaja con residuos sólidos debe estar entre el rango los 25 a 30 años.

Debido a que, el nivel de generación de residuos de aluminio, crece en menor rapidez respecto de la población, como ya se ha descrito. Tomaremos una vida útil esperada de 30 años para la máquina fundidora. Mediante este parámetro estimaremos la producción de residuos de aluminio en la provincia de Chiclayo para el año 2052.

En la figura 6, se observa que la producción de residuos de aluminio generados en la provincia de Chiclayo, tienen un comportamiento de crecimiento lineal. Asimismo, se muestra mediante la gráfica de dispersión de puntos, la ecuación lineal $Y=2.1242X - 3627.3$, donde "X" representa los años y "Y" la masa de residuos de aluminio en toneladas métricas.

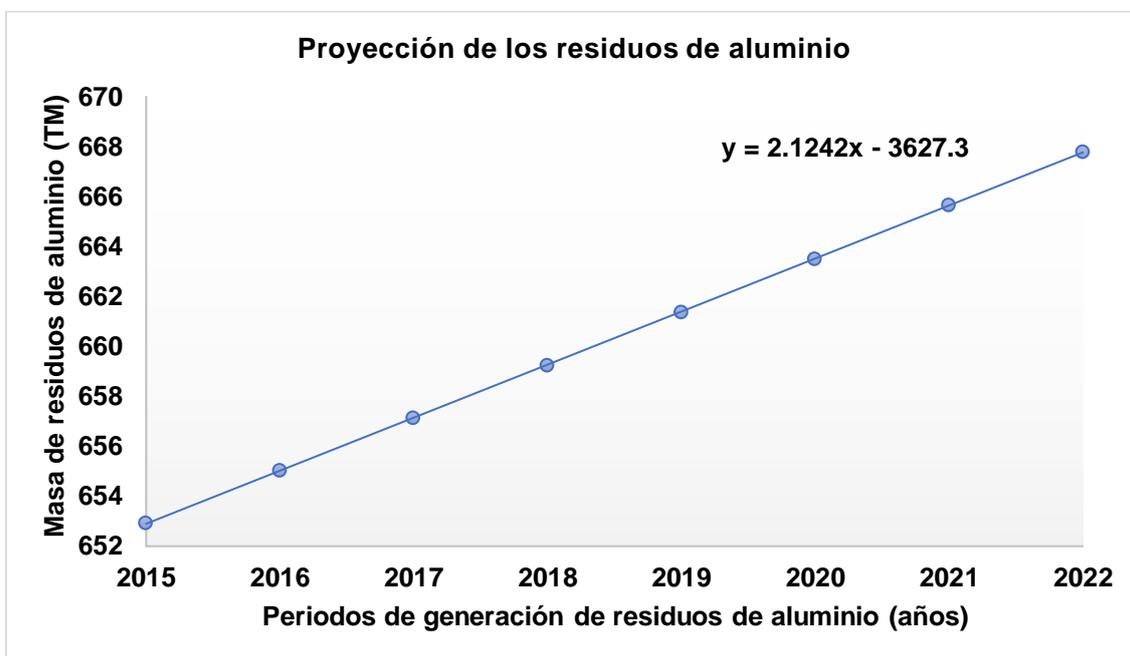


Figura 6. Proyección de los residuos de aluminio generados en la provincia de Chiclayo.
Fuente: Elaborada por los autores

En la tabla 5, se muestra la proyección de los residuos de aluminio durante la vida útil estimada para la máquina fundidora. Se observa un crecimiento lento de los residuos de aluminio. Es decir, en el año 2022 se generaron 667.79 TM y para el año 2052 se estima una generación de 731.56 TM de residuos de aluminio. Los valores calculados fueron ingresados a una hoja de cálculo de Excel, y se determinaron según la ecuación lineal que rige el comportamiento de los residuos de aluminio.

Tabla 5. Proyección de los residuos de aluminio para la provincia de Chiclayo.

Año proyectado	Residuos de aluminio proyectados (TM) $Y=2.1242X - 3627.3$
2023	669.96
2024	672.08
2025	674.21
2026	676.33
2027	678.45
2028	680.58
2029	682.70
2030	684.83
2031	686.95
2032	689.07
2033	691.20
2034	693.32
2035	695.45
2036	697.57
2037	699.70
2038	701.82
2039	703.94
2040	706.07
2041	708.19
2042	710.32
2043	712.44
2044	714.56
2045	716.69
2046	718.81
2047	720.94
2048	723.06
2049	725.19
2050	727.31
2051	729.43
2052	731.56

Fuente: Elaborado por los autores, en base a los datos extraídos del centro de gestión ambiental de la municipalidad provincial de Chiclayo.

Para calcular la masa de residuos de aluminio expresados en la tabla 5, se empleó la ecuación lineal $Y=2.1242X - 3627.3$. Por ejemplo, para el año 2052, la masa sería: $Y=2.1242(2052) - 3627.3 = 731.56$ TM.

Finalmente la maquina fundidora de residuos de aluminio será diseñada para una capacidad de 731.56 TM/año. Es decir, según la producción máxima estimada durante su tiempo vida útil.

Masa de residuos de aluminio anual (m_{raa}):

$$m_{raa} = 731.56 \text{ TM/año}$$

Masa de residuos de aluminio diario (m_{rad}):

En Kg/día:

$$m_{rad} = 731.56 \frac{\text{TM}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}}$$

$$m_{rad} = 2004.27 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

En Kg/hora:

$$m_{rad} = 731.56 \frac{\text{TM}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} * \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ TM}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

$$m_{rad} = 83.51 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Volumen de residuos de aluminio diario (V_{rad}):

$$\rho_a = \frac{m_{rad}}{V_{rad}}$$

Dónde:

m_{rad} : Masa de residuos de aluminio diario, en Kg/s.

ρ_a : Densidad del aluminio, al cual le corresponde un valor de 2.7 g/cm^3 (2700 Kg/m^3).

V_{rad} : Volumen de residuos de aluminio en $\text{m}^3/\text{día}$.

Reemplazando:

$$2700 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = \frac{2004.27 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}}{V_{\text{rad}}}$$

Despejando el volumen de residuos de aluminio, tenemos:

$$V_{\text{rad}} = 0.742 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

4.2. PROPUESTAS DE CONCEPTOS DE DISEÑO PARA EL SISTEMA DE COMPACTACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ALUMINIO

En este apartado se propondrán 3 conceptos de diseño para el sistema de compactación de los residuos de aluminio. Para poder realizar el proceso térmico de fundición, es importante comprimir los residuos de aluminio en bloques (placas), para de esta manera fundir uniformemente a una temperatura constante los residuos. Asimismo, se optimiza el espacio en el hogar del horno de fundición.

a) Lista de requerimientos para el sistema de compactación

El sistema de compactación debe diseñarse según los requerimientos de un diseño eficiente y seguro para quienes tendrán a disposición la operación de la máquina.

Tabla 6. Lista de requerimientos del sistema de compactación

Parámetro	Lista de requerimientos
Funciones	<p>Debe ser capaz de recibir una carga de 83.51 Kg/h de residuos sólidos de aluminio para compactar.</p> <p>Debe compactar un bloque de aluminio de 80 cm de ancho, 40 cm de ancho y altura de 40 cm. Para un volumen de compactación de 0.128 m³.</p> <p>El sistema de compactación debe ser automático.</p>
Geometría	<p>Altura máquina de compactación: 2000 mm.</p> <p>Largo de máquina de compactación: 1000 mm.</p> <p>Altura del bloque compactado: 400 mm.</p> <p>Largo del bloque compactado: 800 mm.</p> <p>Ancho del bloque compactado: 400 mm.</p>
Cinemática	<p>La máquina debe tener una rapidez de compactación de 6 bloques de aluminio por día (0.742 m³/0.128 m³).</p>

Fuerzas	El sistema de compactación debe poseer la fuerza necesaria para realizar una compresión eficiente.
Energía	Se empleará energía trifásica, para el sistema de compresión.
Materiales	Debe fabricarse la estructura de metal con materiales resistentes a la deformación mecánica. El sistema de compactación debe fabricarse de materiales según el mercado local o nacional.
Señales	Debe haber una señal de apertura y cerrado de la puerta de recepción de los residuos de aluminio. Con una señal de activación y otra para desactivación del actuador.
Seguridad	El sistema de compactación debe brindar seguridad al operario durante la operación y mantenimiento. Asimismo, se deben proteger los elementos de máquinas que puedan generar algún daño físico a los operarios.
Ergonomía	La máquina compactadora debe ser diseñada bajo los parámetros del diseño ergonómico, para un buen manejo de las operaciones del compactado de los residuos de aluminio.
Costo	La máquina debe contar con un costo viable para un beneficio económico del compactado de residuos de aluminio.
Mantenimiento	El sistema de compactación debe ser de fácil montaje y desmontaje para las operaciones de mantenimiento.

Fuente: Elaborado por los autores, en base a los requerimientos óptimos para un sistema de compactación eficiente y seguro.

b) Estructura de funciones

El sistema de compactación, se basa en 4 funciones principales:

- Recibir carga de residuos de aluminio a compactar.
- Ejercer presión necesaria sobre la carga a compactar.
- Asegurar paquete con alambre.
- Descargar la carga compactada (bloque de aluminio)

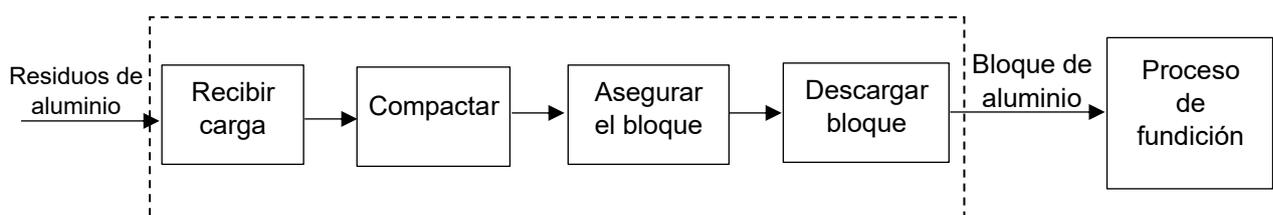


Figura 7. Estructura de funciones del sistema de compactación.

Fuente: Elaborado por los autores

c) Matriz morfológica

La matriz morfológica es una representación gráfica de la estructura de funciones del sistema de compactación de los residuos de aluminio. Para definir los principales elementos que deben cumplir con las funciones parciales.

En la figura 8, se muestra la matriz morfológica de acuerdo a la estructura de funciones (recibir carga a compactar, ejercer presión sobre la carga a compactar, asegurar el bloque y descargar carga compactada), para definir los conceptos de diseño.

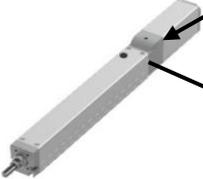
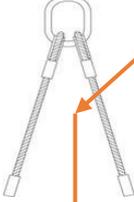
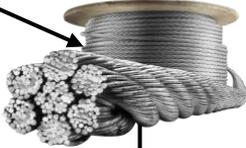
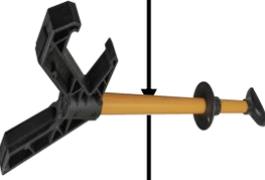
N°	FUNCIONES PARCIALES	ALTERNATIVAS PARA LOS CONCEPTOS DE DISEÑO		
1	Recibir carga a compactar			
2	Ejercer presión sobre la carga a compactar			
3	Asegurar el bloque			
4	Descargar carga compactada (bloque).			
		↓	↓	↓
		S1	S2	S3

Figura 8. Matriz morfológica

Fuente: Elaborado por los autores

d) Conceptos o alternativas de diseño

Concepto de solución N°1: Compactación automática en acción vertical

Este concepto de diseño se presenta constituida por un cilindro hidráulico con capacidad de compactación suficiente para comprimir la carga de residuos de aluminio, el cual estará en posición vertical; Además la estructura de dicha máquina deberá fabricarse de un material metálico. La recepción de la carga será por medio de una puerta y para la descarga del paquete se utilizará otro cilindro hidráulico, este se posicionará en horizontal. Tal como se muestra en la figura 9.

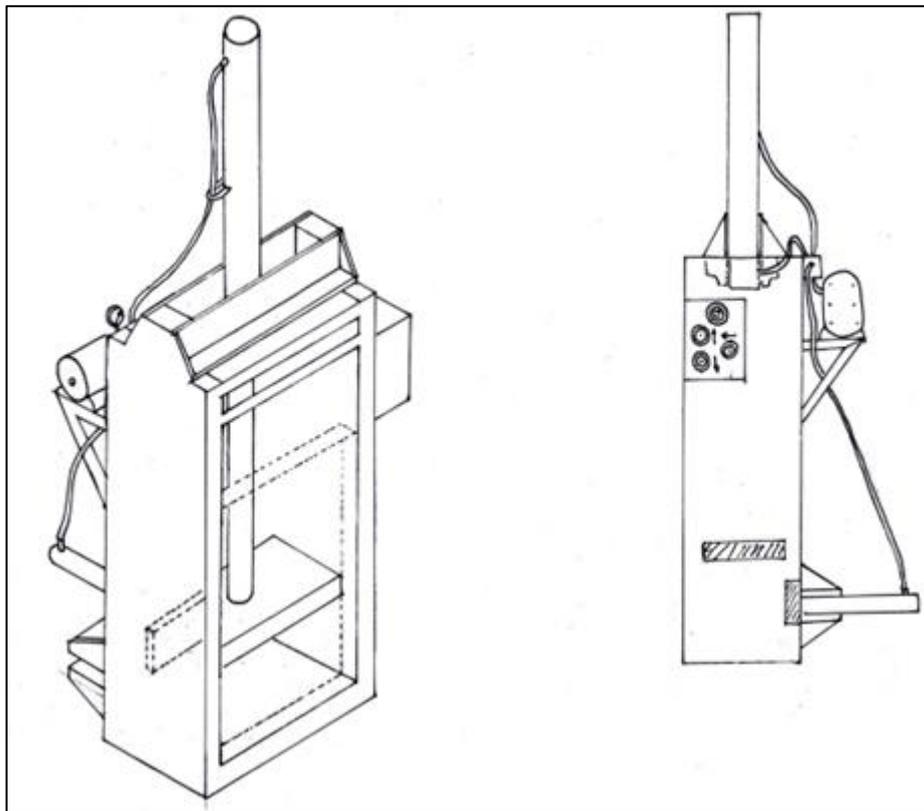


Figura 9. Concepto de solución N°1 para el sistema de compactación.
Fuente: Elaborado por los autores

Concepto de solución N°2: Compactación semi automática vertical

Este concepto de diseño consta de un cilindro hidráulico con capacidad de compactación suficiente para comprimir la carga de residuos de aluminio, el cual estará en posición vertical; Además la estructura de dicha máquina deberá fabricarse de un material metálico. La recepción de la carga será por medio de una puerta y la descarga del paquete será mediante una cadena que se

sincronizará con el ascenso del pistón hidráulico. Tal como se muestra en la figura 10.

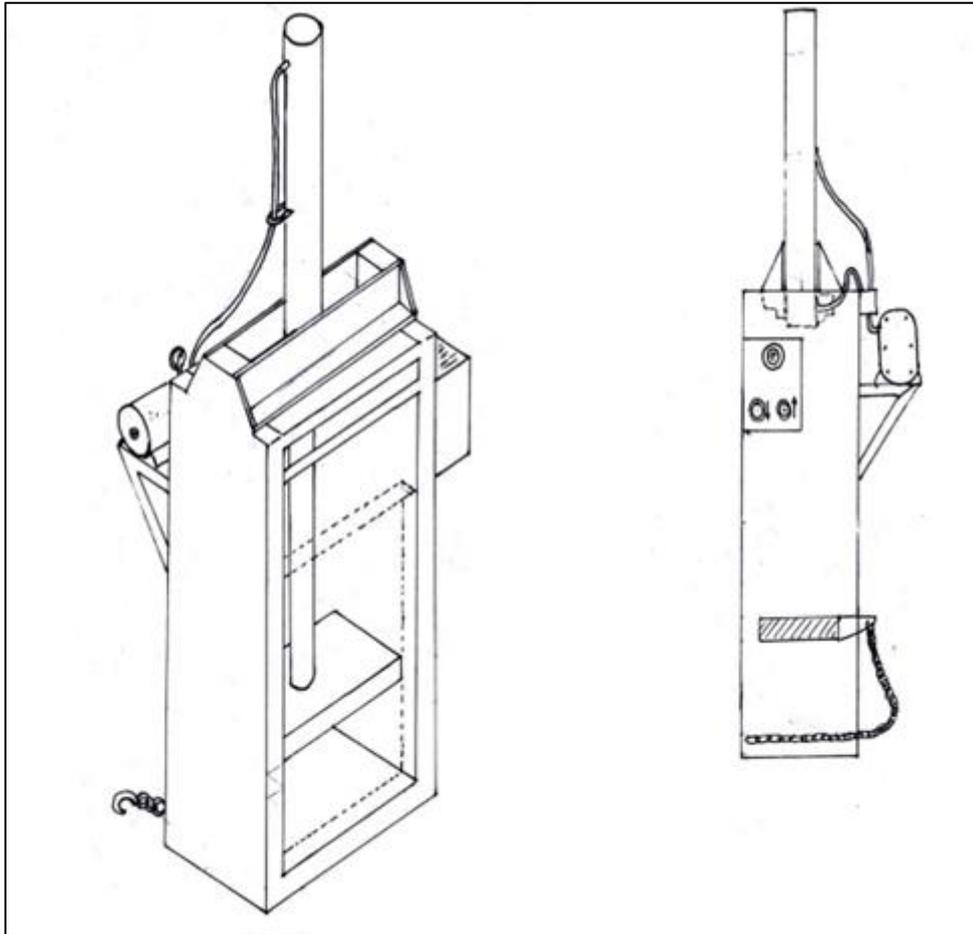


Figura 10. Concepto de solución N°2 para el sistema de compactación.
Fuente: Elaborado por los autores

Concepto de solución N°2: Compactación automática en acción horizontal

En este concepto de diseño, se plantea a partir de un cilindro hidráulico con capacidad de compactación suficiente para comprimir la carga de residuos de aluminio, el cual estará en posición horizontal. Además, la estructura de dicha máquina deberá fabricarse de un material metálico. La recepción de la carga será por medio de una tolva de malla y la descarga del paquete se utilizará otro cilindro hidráulico, este se posicionará en horizontal pero transversal al primer cilindro. Tal como se muestra en la figura 11.

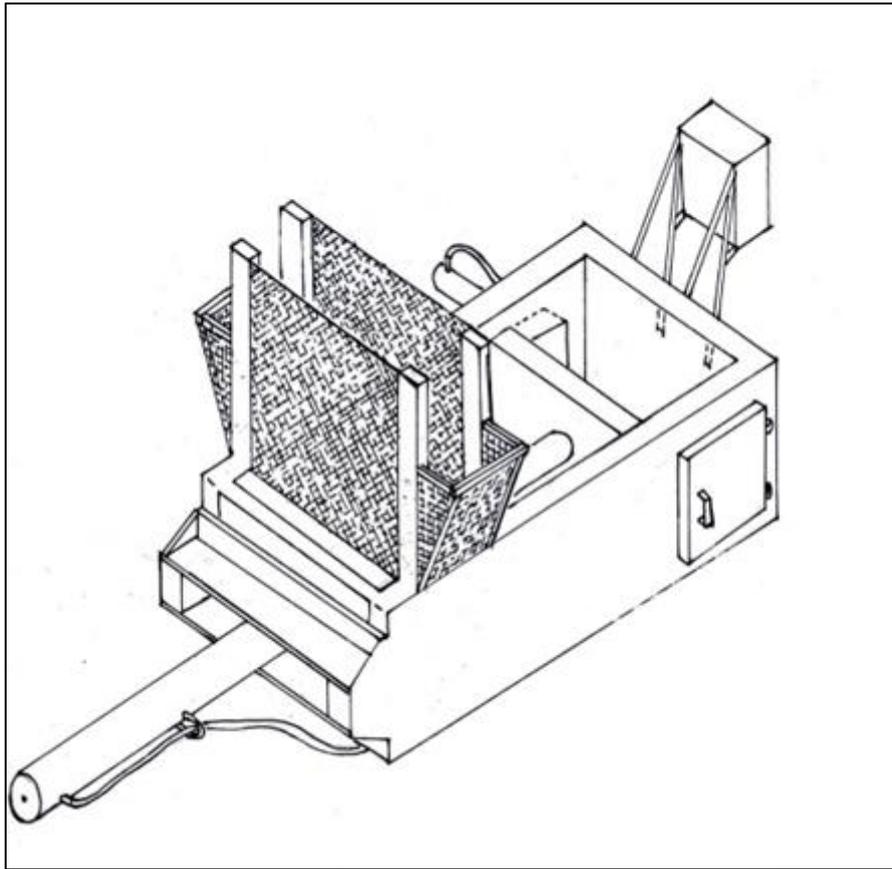


Figura 11. Concepto de solución N°3 para el sistema de compactación.
Fuente: Elaborado por los autores

e) Toma de decisión:

Para la toma de decisiones correctas, respecto al mejor concepto o solución de diseño del sistema de compactación, se considerará la siguiente calificación de 1 a 5, como se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Valores de ponderaciones para la selección del mejor concepto de diseño

Criterio	Puntaje
Muy bueno	5
Bueno	4
Regular	3
Malo	2
Muy malo	1

Fuente: Elaborado por los autores

En la tabla 8, observa que el mejor concepto de diseño, para el sistema de compactación es el concepto de diseño S1 “Compactación automática en acción vertical” con un puntaje acumulado de 50, seguido del concepto S2

“Compactación semi automática vertical” con 42 puntos y del concepto S3
 “Compactación automática en acción horizontal” con 40 puntos.

Tabla 8. Evaluación de los conceptos de diseño para el sistema de compactación.

Requerimiento	Concepto S1	Concepto S2	Concepto S3
Función	5	4	4
Geometría	5	4	4
Cinemática	5	4	4
Fuerza	5	4	4
Energía	4	4	4
Materiales	4	4	3
Señales	4	4	3
Seguridad	5	4	3
Ergonomía	5	3	3
Costo	4	4	4
Mantenimiento	4	3	4
	50	42	40

Fuente: Elaborado por los autores en base al criterio de los requerimientos del sistema de compactación de los residuos de aluminio para la municipalidad provincial de Chiclayo.

4.3. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES, MECÁNICOS Y ELECTRICOS DEL SISTEMA DE COMPACTACIÓN DE RESIDUOS DE ALUMINIO.

Requerimientos técnicos:

Para llevar a cabo el cálculo hidráulico y luego la respectiva selección de los equipos que constituyen el sistema de compactación de los residuos de aluminio; se propondrá los siguientes requerimientos técnicos, ya antes determinados. Los cuales se detallan en la tabla 9.

Tabla 9. Requerimientos técnicos del sistema de compactación de residuos de aluminio

Requerimiento técnico	Descripción
Dimensiones de los bloques de aluminio compactados	0.80 m x 0.40 m x 0.40 m
Velocidad del proceso de compactado	6 bloques por día para una producción de 83.51 Kg/h.
Peso compactado por día y por bloque	Peso compactado por día 2004.27 Kg y por bloque 334 Kg.
Presión trabajo nominal	200 bar manométricos
Presión máxima de trabajo	93 bar manométricos
Fuerza máxima nominal	10 toneladas fuerza (98100 Kg)

Fuente: Elaborado por los autores

Los bloques de aluminio, deben tener un volumen máximo de 0.128 m³, tal como se observa en la figura 12.

$$V_p = b_1 * b_2 * h_f = 0.8 \text{ m} * 0.4 \text{ m} * 0.4 \text{ m} = 0.128 \text{ m}^3$$

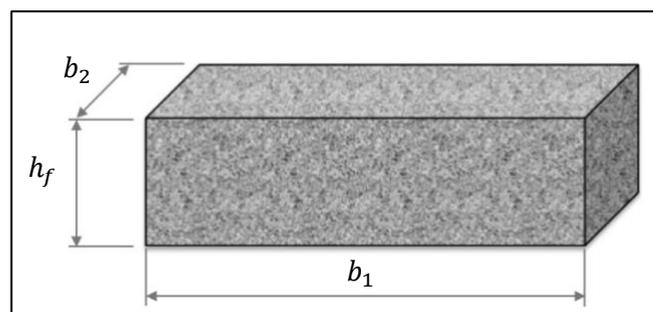


Figura 12. Bloque de residuos de aluminio comprimido

Fuente: Elaborado por los autores

Área del émbolo:

La fuerza que la presión del fluido hidráulico debe generar en el interior del cilindro, se calcula mediante la fórmula de Pascal.

$$F = P_2 * A_2 - P_1 * A_1$$

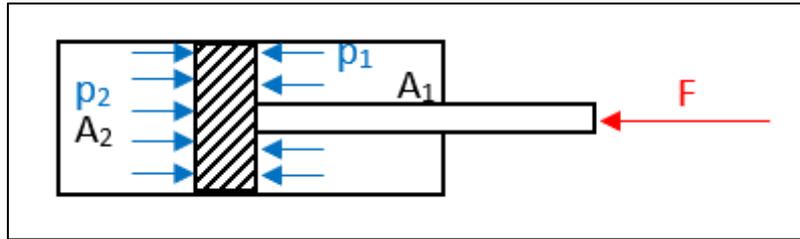


Figura 13. Esquema de pistón hidráulico

Fuente: Elaborado por los autores

Dónde:

F: Fuerza resultante de compresión, en KN.

P_2 : Presión máxima de trabajo, en Pa. $P_2 = 93 \cdot 10^5$ Pa.

P_1 : Presión de trabajo nominal, en Pa. $P_1 = 200 \cdot 10^5$ Pa.

A_2 : Área transversal del émbolo del lado 2, en m^2 .

A_1 : Área transversal del émbolo del lado 1, en m^2 .

En la figura 13, p_1 es la presión que ejerce el fluido hidráulico por efecto de circular a través de los accesorios en el retorno de este al tanque de aceite.

Reemplazando los valores tenemos:

$$F = 200 \cdot 10^5 \cdot A_2 - 93 \cdot 10^5 \cdot A_1 \geq 98.1 \text{ KN}$$

Como se puede observar, en la ecuación anterior hace faltan las áreas del émbolo y del vástago; para lo cual usaremos los valores presentados en catálogos de pistones hidráulicos. Los valores de catálogo al reemplazarlos en la ecuación, nos resultaran la fuerza en el vástago, las que deben ser mayor o igual que la fuerza requerida, tal como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Fuerza en el vástago para diámetros de embolo y vástago diferentes.

Diámetro del vástago	Diámetro del émbolo	Área 1	Área 2	Carrera	F
mm	mm	m^2	m^2	mm	KN
30	50	0.001257	0.001963	100-2000	27.58
40	60	0.001571	0.002827	100-2000	41.94
50	80	0.003063	0.005027	100-2000	72.04
60	100	0.005027	0.007854	100-2000	110.33

Fuente: Valores de diámetros de vástago y émbolos comerciales

Por lo consiguiente, tal como se muestra en la tabla 10, con un diámetro de vástago de 60 mm y diámetro de émbolo de 100 mm se obtiene una fuerza de 110.33 KN, superior a la fuerza de 98.10 KN, para una correcta operación.

Cálculo del diámetro mínimo del vástago.

El cálculo del diámetro del vástago se realizará basándose en la ecuación de Euler para barras esbeltas, donde:

$$k = \frac{\pi^2 * E * J}{L_k^2}$$

Dónde:

E: Módulo de elasticidad del acero, en KPa, $E = 200 * 10^6$ KPa

J: Momento polar de inercia, en m^4 .

L_k : Longitud de pandeo equivalente, en cm.

$$L_k = 0.7 * L_c$$

L_c : Longitud de carrera, en m. $L_c=0.7$ m (Tabla 11).

$$L_k = 0.7 * 0.7m = 0.49 \text{ m}$$

K: Carga de pandeo (KN)

$$k = s * F$$

F: Fuerza de compresión, en KN. $F=110.33$ KN

S: Factor de servicio. $S=3$

$$k = 3 * 110.33 = 330.99 \text{ KN}$$

Entonces, si despejamos el momento polar de inercia de la ecuación de Euler se tiene:

$$J = \frac{L_k^2 * k}{\pi^2 * E} = \frac{0.49^2 * 330.99}{\pi^2 * 200 * 10^6} = 4.026 * 10^{-8} \text{ m}^4 = 4.026 \text{ cm}^4$$

Luego, de la fórmula del momento polar de inercia, se obtiene el mínimo diámetro posible para el vástago:

$$J = \frac{\pi * d_{v_min}^4}{64}$$

Dónde:

d_{v_min} : Diámetro mínimo de vástago, en cm.

J: Momento polar de inercia, en cm^4 .

Despejando el diámetro mínimo del vástago

$$d_{v_min} = \sqrt[4]{\frac{64 * J}{\pi}} = \sqrt[4]{\frac{64 * 4.026}{\pi}} = 3.01 \text{ cm} = 30.1 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo del vástago de 30.1 mm, es inferior al diámetro del vástago normalizado de 60 mm, por lo tanto, la selección es correcta.

Presión de tarado de la válvula de seguridad

La presión necesaria para compactar la carga, será:

$$P_2 = \frac{F + P_1 * A_1}{A_2 * 10^5}$$

Dónde:

F: Fuerza resultante de compresión, en N. F= 98100 N

P₂: Presión de tarado de la válvula de seguridad, en bar.

P₁: Presión de trabajo nominal, en Pa. P₁ = 200*10⁵ Pa.

A₂: Área transversal del émbolo del lado 2, en m². A₂= 0.007854 m².

A₁: Área transversal del émbolo del lado 1, en m². A₁= 0.005027 m².

Reemplazando:

$$P_2 = \frac{98100 + 93 * 10^5 * 0.005027}{0.007854 * 10^5} = 184.43 \text{ bar}$$

La presión necesaria en la descarga de la bomba será la necesaria en el cilindro más las pérdidas de carga (Figura 16):

$$p_{bomba} = 184.43 + 3 = 187.43 \text{ Bar}$$

Si taramos la válvula limitadora para que se abra un 5% por encima de esa presión obtendremos la presión de tarado de la válvula limitadora como:

$$p_{VS} = 196.80 \text{ bar}$$

Determinación de la geometría

En la tabla 11 y figura 14, se detallan las dimensiones del sistema de compactación de residuos de aluminio.

Tabla 11. Dimensiones relevantes del sistema de compactación

Simbología	Valor numérico
h_f	1300 mm
h	1100 mm
L_c	700 mm
h_i	850 mm
h_t	2000 mm
b_1	800 mm

Fuente: Elaborado por los autores.

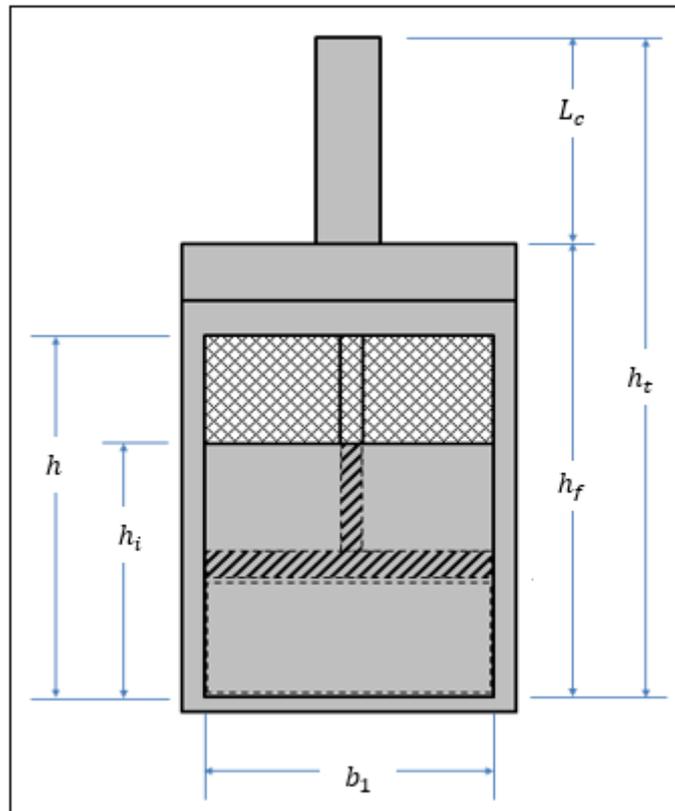


Figura 14. Dimensiones del sistema de compactación

Fuente: Elaborado por los autores

Velocidad del vástago

El tiempo aproximado para compactar un bloque de aluminio, según la lista de exigencias es:

$$T_c = 10 \text{ min}$$

Si asumimos que el 50 % del tiempo se emplea en abastecer el equipo, entonces el tiempo efectivo de compactación:

$$T_e = 0.5 * 10 = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$$

Considerando la longitud de la carrera del pistón hidráulico de 700 mm (Tabla 11), donde la compactación del volumen final requerido, lo realiza abasteciendo 3 veces el equipo.

$$v_v = \frac{3 * L_c}{T_e}$$

Dónde:

v_v : Velocidad de descenso del pistón, en m/s.

L_c : Longitud de carrera, en m. $L_c=0.7$ m.

T_e : Tiempo efectivo de compactación, en s. $T_e= 300$ s.

Reemplazando:

$$v_v = \frac{3 * 0.70}{300} = 7 * 10^{-3} \frac{m}{s}$$

Caudal en el cilindro hidráulico

$$\dot{Q}_c = A_2 * v_v$$

Dónde:

\dot{Q}_c : Caudal del cilindro hidráulico, en m³/s.

A_2 : Área transversal del émbolo del lado 2, en m². $A_2= 0.007854$ m²

v_v : Velocidad de descenso del pistón, en m/s. $v_v= 7*10^{-3}$ m/s.

Reemplazando:

$$\dot{Q}_c = 0.007854 * 7 * 10^{-3} = 5.50 * 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 3.30 \frac{l}{min}$$

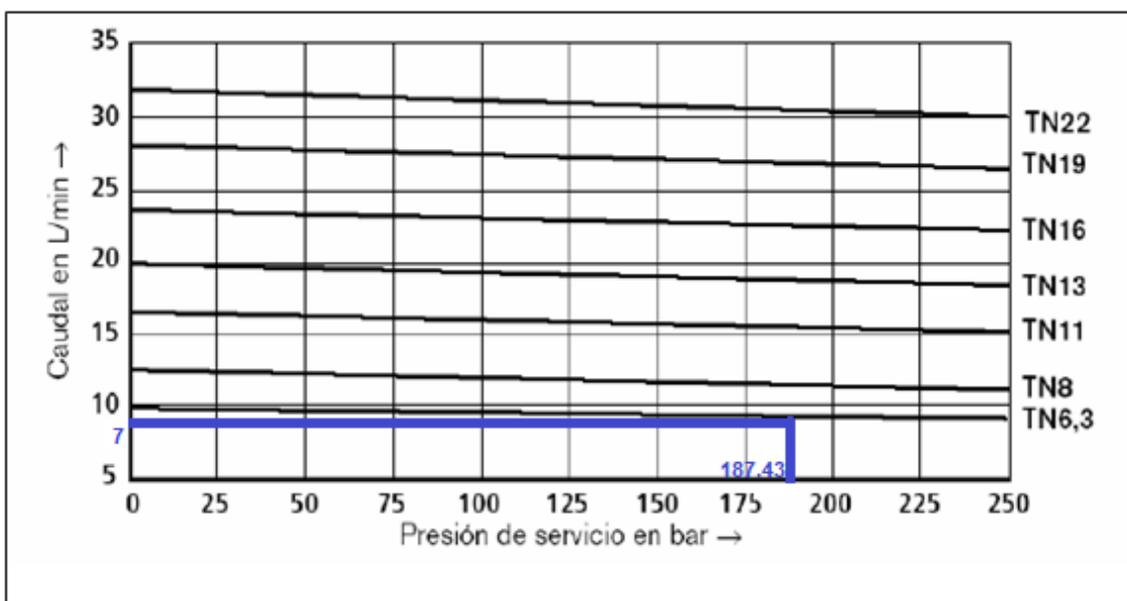


Figura 15. Relación del caudal y presión de servicio
Fuente: Extraído de Nasimba (2020).

De la figura 10, a la presión de 187.43 bar manométricos, el caudal sería:

$$\dot{Q}_c = 7 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 1.17 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Entonces, la velocidad de descenso del pistón varía a:

$$V_v = \frac{\dot{Q}_c}{A_2} = \frac{1.17 * 10^{-4}}{0.007854} = 0.015 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

También el tiempo de compactación disminuirá a:

$$T_e = \frac{3 * L_c}{V_v} = \frac{3 * 0.70}{0.015} = 140 \text{ s}$$

Esto quiere decir que el tiempo total empleado para alimentar y compactar un bloque de aluminio es:

$$t = t_e + 5 \text{ min} = 7.33 \text{ min}$$

Determinación del volumen del depósito de aceite:

Para cumplir con el caudal calculado se requiere tener en el depósito al menos el siguiente volumen de aceite.

$$\text{Vol}_{\text{dep}} = 3 * Q_c = 3 * 7 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 1 \text{ min} = 21 \text{ l}$$

Estimación de la potencia en el motor eléctrico

$$P_{\text{ME}} = \frac{P_{\text{op}} * Q_c}{600 * \eta_{\text{vol}} * \eta_{\text{mec}}}$$

Dónde:

P_{ME} : Potencia del motor eléctrico, en KW.

P_{op} : Presión de operación máxima de compresión, en bar. $P_{\text{op}} = 187.43 \text{ bar}$.

\dot{Q}_c : Caudal máximo del cilindro hidráulico, en l/min. $\dot{Q}_c = 7 \text{ l/min}$.

η_{vol} : Rendimiento volumétrico, $\eta_{\text{vol}} = 0.94$

η_{mec} : Rendimiento mecánico, $\eta_{\text{mec}} = 0.80$

Reemplazando:

$$P_{\text{ME}} = \frac{187.43 * 7}{600 * 0.94 * 0.80} = 2.91 \text{ KW} = 4 \text{ HP}$$

En el anexo 3, se muestra la ficha técnica del motor eléctrico y de la bomba para el sistema hidráulico.

Cálculo de las tuberías

El diámetro de la tubería o manguera que suministrará fluido hidráulico al actuador se determinará mediante la siguiente expresión:

$$d_t = \sqrt{\frac{4 * \dot{Q}_c}{\pi * v}}$$

Dónde:

d_t : Diámetro de la tubería o manguera, en m.

\dot{Q}_c : Caudal máximo del cilindro hidráulico, en m^3/s . $\dot{Q}_c = 1.17 * 10^{-4} m^3/s$.

V: Velocidad del aceite, en m/s.

En general, el diámetro (D) de cualquier línea de aceite hidráulico debe seleccionarse de modo que la velocidad (v) del fluido que contiene permanezca dentro de un rango de velocidad específico. En la práctica, se aplican los siguientes valores de velocidad predeterminados (Hurtado, 2023):

Tuberías de descarga:

- hasta 50 bar de presión de trabajo : 4 m/s;
- hasta 100 bar de presión de trabajo : 4.5 m/s;
- hasta 150 bar de presión de trabajo : 5 m/s;
- hasta 200 bar de presión de trabajo : 5.5 m/s;
- hasta 300 bar de presión de trabajo : 6 m/s.

Tuberías de succión : 1.5 m/s;

Tubería de retorno : 2 m/s.

Entonces para la tubería flexible de succión:

$$d_{t,suc} = \sqrt{\frac{4 * 1.17 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{\pi * 1.5}} = 0.010 \text{ m} = 10 \text{ mm} = 0.39 \text{ in}$$

Aproximándola a un diámetro comercial: 1/2 in, presión máxima 275 bar.

Para la tubería flexible de descarga (impulsión):

$$d_{t_desc} = \sqrt{\frac{4 * 1.17 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{\pi * 4.5}} = 0.00575 \text{ m} = 5.75 \text{ mm} = 0.227 \text{ in}$$

Aproximándola a un diámetro comercial: 1/4 in, presión máxima 400 bar

Para la tubería flexible de retorno (impulsión):

$$d_{t_ret} = \sqrt{\frac{4 * 1.17 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{\pi * 2}} = 8.63 \text{ mm} = 0.340 \text{ in}$$

Aproximándola a un diámetro comercial: 3/8 in, presión máxima 330 bar.

En la tabla 12, se muestran los resultados del análisis hidráulico, determinando el diámetro, caudal y velocidad requerido en las tuberías hidráulicas de succión, descarga y retorno.

Tabla 12: Resultados del cálculo hidráulico

Diámetro de tubería	Caudal l/min	Diámetro interior pulg	Diámetro interior mm	Velocidad m/s
Succión		1/2	12.70	0.92
descarga	7	1/4	6.350	3.69
Retorno		3/8	9.525	1.64

Fuente: Elaborado por los autores, según el análisis hidráulico.

Circuito hidráulico:

En la figura 16, se muestran los resultados en el circuito hidráulico, con los valores necesarios para compactar los residuos de aluminio en bloques de 0.8x0.4x0.4 m, con una producción de 83.51 Kg/h.

En la figura 16, el aceite es contenido en un depósito, este es succionado mediante el accionamiento de una bomba, a través de un motor eléctrico trifásico, pasando por una válvula antirretorno para proteger a los equipos hidráulicos. El aceite pasa por un filtro y como seguridad se cuenta con una válvula de alivio, para continuar por la válvula 2 posiciones y 4 vías, permitiendo elevar la presión. Para evitar el retorno del fluido se coloca una válvula check y una válvula de alivio, y para medir los parámetros de funcionamiento del sistema

hidráulico, se instala una válvula de control de caudal y temperatura, para obtener una presión de trabajo de 93 bar manométricos.

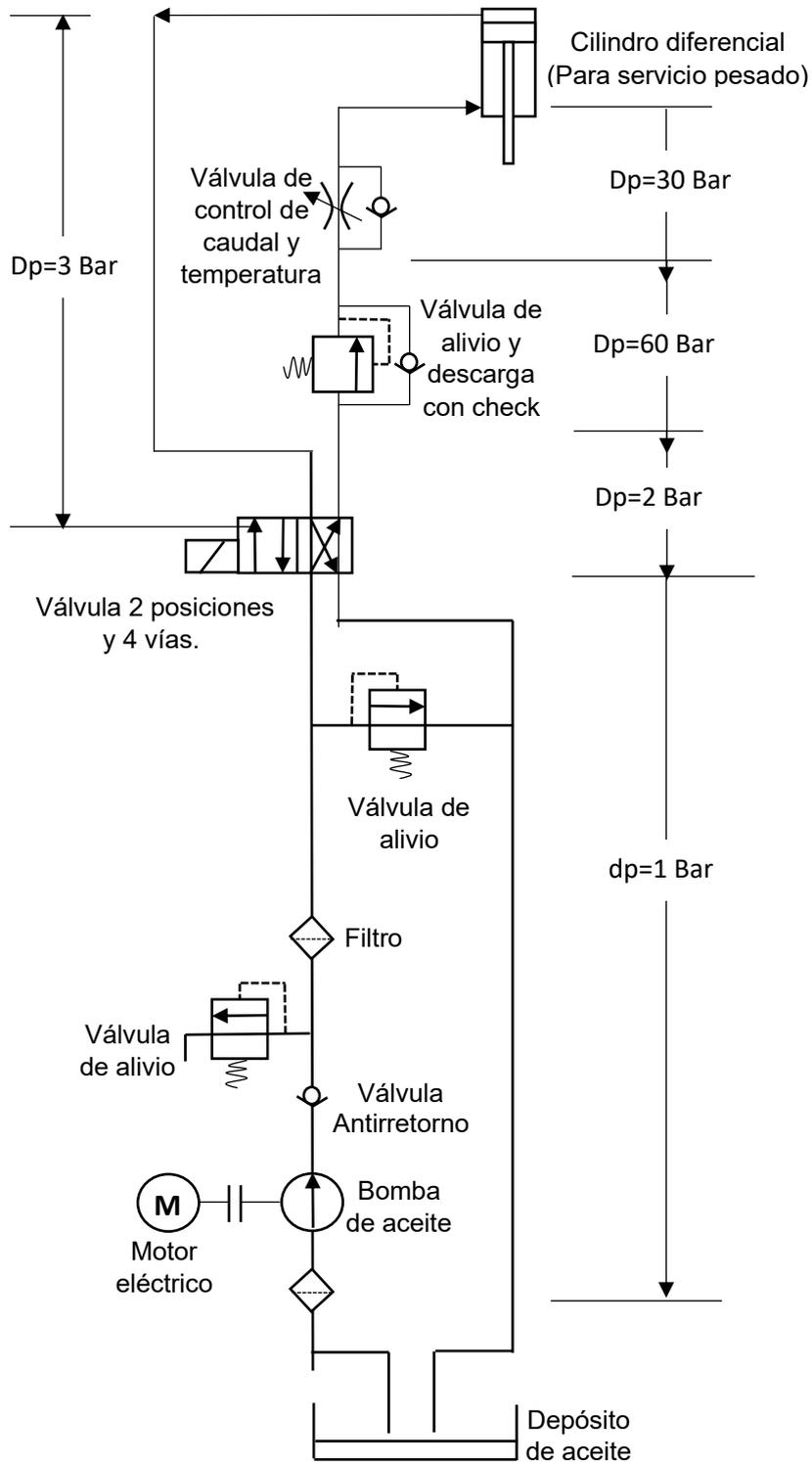


Figura 16. Circuito hidráulico del sistema de compactación de residuos de aluminio
Fuente: Elaborado por los autores

Diseño de la cámara de compactación

En la figura 17, se considera el siguiente sistema de referencia para la cámara de compactación. El análisis del espesor de la plancha se realizará en la cámara de compactación porque en esta sección se localizan los mayores esfuerzos en las 3 direcciones.

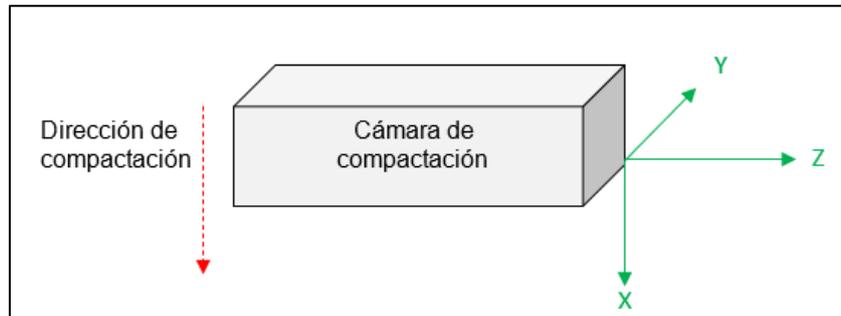


Figura 17: Direcciones en la compactación de los residuos de aluminio.
Fuente: Elaborado por los autores

Se tomará en cuenta de la lista de exigencia que la compactadora estará fabricada en acero estructural ASTM A-36, para la cual sus propiedades en estudio son las siguientes:

E: Módulo de elasticidad, $E = 200 * 10^9$ Pa (Anexo 5).

ν : Coeficiente de poisson, $\nu = 0.25 \dots 0.33$ (Anexo 5).

La relación de Poisson para el acero comúnmente es 0.30. Entonces los esfuerzos en dirección "x" se calculará como:

$$\sigma_x = \frac{F}{A_c} = \frac{F}{b_1 * b_2}$$

Dónde:

σ_x : Esfuerzo axial, en KPa

F: Fuerza de compresión, en KN

A_c : Área de compresión perpendicular al eje "x", en m^2 .

b_1 y b_2 : lados del área transversal perpendicular al eje "x", en m.

Reemplazando:

$$\sigma_x = \frac{98.1}{0.400 * 0.400} = 613.125 \text{ KPa}$$

Se sustituye este valor en la ecuación deformación multiaxial para la componente “x”, para encontrar el valor de la deformación unitaria en la dirección “X”:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x * (1 + \nu) * (1 - 2 * \nu)}{E * (1 - \nu)}$$

Dónde:

ε_x : Deformación unitaria, adimensional.

E: Módulo de elasticidad, en Pa. $E=200 * 10^9$ Pa (Anexo 5).

σ_x : Esfuerzo axial, en Pa

Reemplazando:

$$\varepsilon_x = \frac{613.125 * 10^3 * (1 + 0.30) * (1 - 2 * 0.30)}{200 * 10^9 * (1 - 0.30)} = 2.28 * 10^{-6}$$

Los esfuerzos restantes quedan entonces como:

$$\sigma_y = \frac{E}{(1 + \nu) * (1 - 2 * \nu)} * \nu * \varepsilon_x$$

Dónde:

ε_x : Deformación unitaria, adimensional. $\varepsilon_x = 2.28 * 10^{-6}$

E: Módulo de elasticidad, en Pa. $E=200 * 10^9$ Pa (Anexo 5).

ν : Coeficiente de poisson, adimensional. $\nu = 0.30$ (Anexo 5).

σ_y : Esfuerzo radial en la dirección del eje “y”, en Pa,

Reemplazando:

$$\sigma_y = \frac{200 * 10^6}{(1 + 0.30) * (1 - 2 * 0.30)} * 0.3 * 2.28 * 10^{-6} = 263.077 \text{ KPa}$$

Como: $\sigma_y = \sigma_z$

$$\sigma_z = 263.077 \text{ KPa}$$

Dónde:

σ_z : Esfuerzo radial en la dirección del eje “z”, en Pa,

Las fuerzas en las caras “Y” y “Z”.

$$F_z = A_z * \sigma_z = 0.4 * 0.4 * 263.077 = 42.09 \text{ KN}$$

$$F_y = A_y * \sigma_y = 0.4 * 0.8 * 263.077 = 84.18 \text{ KN}$$

Cálculo del espesor de la cara posterior, perpendicular al eje “y” ($e_{\text{posterior}}$)

Considerando las propiedades del acero ASTM A-36. Si la deflexión permisible es L/360.

$$\frac{L}{360} = \frac{5 * w * L^4}{380 * E * I}$$

Se despeja el momento de inercia.

$$I = \frac{5 * w * L^3 * 360}{380 * E}$$

Dónde:

L: Lado perpendicular al eje “y”, en m. $L=b_1=0.8$ m.

w: distribución de la carga en el eje “y”, en m. $w=F_y/b_1$.

F_y : Fuerza en la cara del eje “y”, en N. $F_y=84.18*10^3$ N

E: Módulo de elasticidad, en Pa. $E=200*10^9$ Pa (Anexo 5).

I: momento de inercia, en m^4 .

Se despeja el momento de inercia.

$$I = \frac{5 * \frac{F_y}{b_1} * b_1^3 * 360}{380 * E} = \frac{5 * \frac{84.18 * 10^3}{0.8} * 0.8^3 * 360}{380 * 200 * 10^9} = 1.276 * 10^{-6} m^4$$

El espesor posterior, se determina:

$$e_{\text{posterior}} = \sqrt[3]{\frac{12 * I}{b_1}} = \sqrt[3]{\frac{12 * 1.276 * 10^{-6}}{0.8}} = 0.02675 m = 1.053 in \cong 1 \frac{1}{4} in$$

Cálculo del espesor de la cara lateral, perpendicular al eje “z”. (e_{lateral})

Considerando las propiedades del acero ASTM A-36. Si la deflexión permisible es L/360.

$$I = \frac{5 * \frac{F_z}{b_2} * b_2^3 * 360}{380 * E}$$

Dónde:

L: Lado perpendicular al eje “z”, en m. $L=b_2=0.40$ m

F_z : Fuerza en la cara del eje “z”, en N. $F_z=42.09*10^3$ N

E: Módulo de elasticidad, en Pa. $E=200*10^9$ Pa (Anexo 5).

Reemplazando:

$$I = \frac{5 * \frac{42.09 * 10^3}{0.4} * 0.4^3 * 360}{380 * 200 * 10^9} = 1.595 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

El espesor lateral, se determina:

$$e_{\text{lateral}} = \sqrt[3]{\frac{12 * I}{b_2}} = \sqrt[3]{\frac{12 * 1.595 * 10^{-7}}{0.4}} = 0.01685 \text{ m} = 0.66 \text{ in} \cong 3/4 \text{ in}$$

Cálculo del espesor de la cara inferior, perpendicular al eje “x”. (e_{inferior})

Considerando las propiedades del acero ASTM A-36. Si la deflexión permisible es L/360.

$$I = \frac{5 * \frac{F_x}{b_1} * b_1^3 * 360}{380 * E}$$

Dónde:

L: Lado perpendicular al eje “x”, en m. $L=b_1=0.80 \text{ m}$

F_x : Fuerza en la cara del eje “x”, en N. $F_x=98.1*10^3 \text{ N}$

E: Módulo de elasticidad, en Pa. $E=200* 10^9 \text{ Pa}$ (Anexo 5).

Reemplazando:

$$I = \frac{5 * \frac{98.1 * 10^3}{0.8} * 0.8^3 * 360}{380 * 200 * 10^9} = 1.487 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

El espesor inferior, se determina:

$$e_{\text{inferior}} = \sqrt[3]{\frac{12 * I}{b_1}} = \sqrt[3]{\frac{12 * 1.487 * 10^{-7}}{0.8}} = 0.0281 \text{ m} = 1.10 \text{ in} \cong 1 \frac{1}{4} \text{ in}$$

En la tabla 13, se observa que la mayor fuerza aplicada en la cámara de compactación se encuentra en las caras inferior y superior con 98.100 KN con un espesor de plancha requerido de 1 ¼ pulgadas de material ASTM A-36

Tabla 13. Resultados de espesores ejercidos en la cámara de compactación

Cara en cámara de compactación	Fuerza aplicada KN	Espesor pulg.	Material
Frontal	84.180	1 ¼	ASTM A-36
Posterior	84.180	1 ¼	ASTM A-36
Lateral derecha	42.090	¾	ASTM A-36
Lateral izquierda	42.090	¾	ASTM A-36
Inferior	98.100	1 ¼	ASTM A-36
Superior	98.100	1 ¼	ASTM A-36

Fuente: Elaborado por los autores

Diámetro para las bisagras de la puerta de expulsión

La puerta de expulsión tendrá 3 bisagras, con la siguiente disposición geométrica, como se muestra en la figura 18.

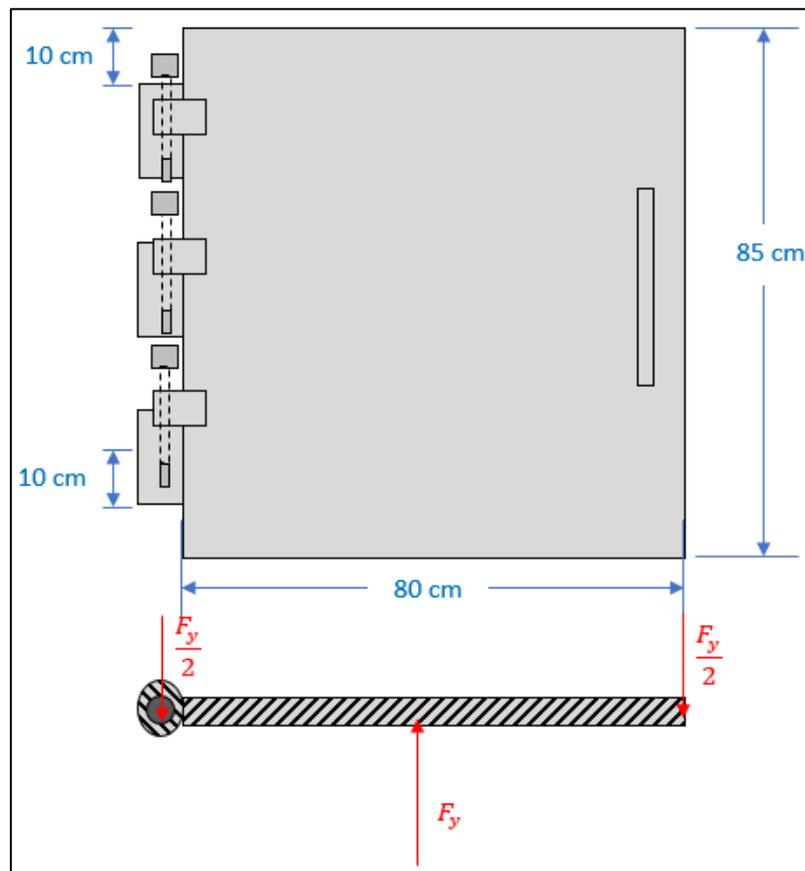


Figura 18. Bisagras de la puerta de expulsión

Fuente: Elaborado por los autores

El eje de la bisagra está sometido a cortante en el instante de la compactación.

$$\tau_Q = \frac{8 * Q}{3 * \pi * d^2} = \frac{8}{6} * F_y = \frac{8 * 84.18}{6} = \frac{11.91}{d^2} \text{ KPa}$$

Dónde:

τ_Q : Es el esfuerzo cortante, en KPa.

d: Diámetro de bisagras, en m.

Q: Fuerza cortante, en KN.

F_y : Fuerza en la cara del eje "y", en KN. $F_y=84.18$ KN

$$\tau_Q = \frac{8 * 84.18}{3 * \pi * d^2} = \frac{11.91}{d^2} \text{ KPa}$$

Por la teoría de la máxima energía de distorsión (teoría de Von Mises), donde se debe cumplir la siguiente relación, considerando un factor de seguridad:

$$\sigma' = \frac{S_{ut}}{N} = \sqrt{3 * \tau_Q^2}$$

Dónde:

σ' : Es el esfuerzo de Von Mises, en KPa.

S_{ut} : Esfuerzo último a la tracción del ASTM A-36, en KPa. $S_{ut}=400$ KPa (Anexo 5).

N: Factor de seguridad, adimensional.

τ_Q : Es el esfuerzo cortante, en KPa.

Reemplazando:

$$\sqrt{3^2 * \frac{11.91^2}{d^4}} = \frac{35.73}{d^2} \text{ KPa}$$
$$\frac{35.73}{d^2} = \frac{400 * 10^3}{N}$$

Definiendo un factor de seguridad de 3. El diámetro de las bisagras es:

$$d = \sqrt{\frac{35.73 * 3}{400 * 10^3}} = 0.0119 \text{ m} = 0.469 \text{ in} \cong \frac{1}{2} \text{ in}$$

Dimensionamiento del soporte principal de la compactadora

En la figura 19, se muestra el diagrama de cuerpo libre del soporte principal de la compactadora.

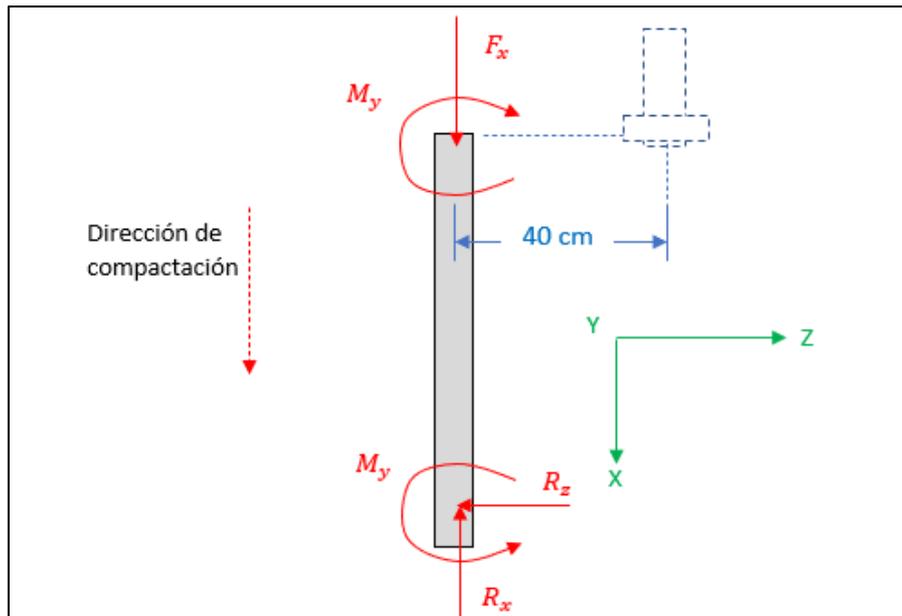


Figura 19. Soporte principal de la compactadora
 Fuente: Elaborado por los autores

La fuerza axial y el momento flexionante respecto al eje “y”, se evalúan mediante las siguientes expresiones:

$$F_x = \frac{F}{2}$$

$$M_y = F * r$$

Dónde:

Fx: Es la fuerza axial, en KN

r: Distancia de acción del momento flexionante respecto al eje “y”, r=0.4 m

F: Es la fuerza de compresión, en KN. F=98.10 KN.

My: Momento flexionante respecto al eje “y”, en KN.m

Reemplazando:

$$F_x = \frac{98.1}{2} = 49.05 \text{ KN}$$

$$M_y = 98.1 * 0.4 = 39.24 \text{ KN * m}$$

Para los elementos estructurales del sistema de compactación se empleará el perfil estructural H 6x16, debido a su estabilidad y resistencia a la compresión. Tal como se observa en la figura 20.

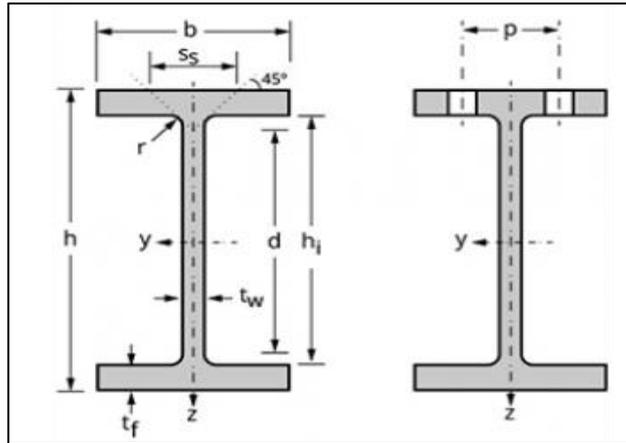


Figura 20. Perfil estructural para los elementos estructurales de la compactación
Fuente: Elaborado por los autores

En el anexo 4, se muestran las propiedades geométricas para los perfiles estructurales “I” para los elementos estructurales de la compactación. Para el perfil H 8X67, tenemos:

I_y : Momento de inercia “y”, en m^4 . $I_y = 1.133 * 10^{-4} m^4$ (Anexo 4).

A_{st} : Área transversal del perfil, en m^2 . $A_{st} = 0.0127 m^2$ (Anexo 4).

Entonces el esfuerzo por compresión y por flexión serían:

$$\sigma_M = \frac{M_y * C}{I_y * 10^6}$$

$$\sigma_C = \frac{F_x}{A_{st} * 10^6}$$

Dónde:

σ_M : Esfuerzo máximo por flexión en MPa

M_y : Momento flexionante respecto al eje “y”, en N.m. $M_y = 39.24 * 10^3$ N.m

C : Distancia máxima entre el centroide del perfil y su extremo, en m. $C = 0.1145$ m (Anexo 4).

I_y : Momento de inercia “y”, en m^4 . $I_y = 1.133 * 10^{-4} m^4$ (Anexo 4).

σ_C : Esfuerzo máximo de compresión, en MPa

F_x : Es la fuerza axial máxima que soporta la estructura, en KN. $F_x = 49.05 * 10^3$ N.m

A_{st} : Área transversal del perfil, en m^2 . $A_{st} = 0.0127 m^2$ (Anexo 4).

Reemplazando:

$$\sigma_M = \frac{39.24 * 10^3 * 0.1145}{1.133 * 10^{-4} * 10^6} = 39.66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_C = \frac{F_x}{A_{st}} = \frac{49.05 * 10^3}{0.0127 * 10^6} = 3.86 \text{ MPa}$$

En las figuras 21 y 22, se muestra la distribución de los esfuerzos por compresión, flexión y esfuerzos bidimensionales respectivamente.

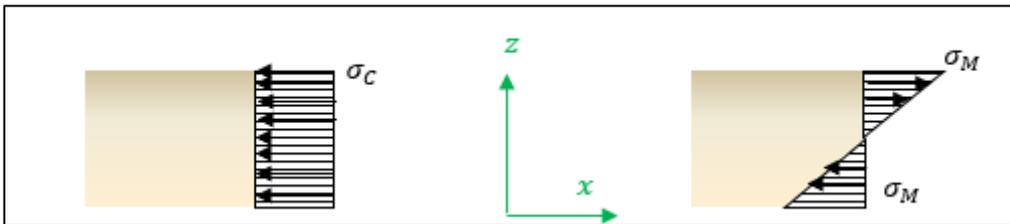


Figura 21: Esquema de los esfuerzos de compresión y flexión.

Fuente: Elaborado por los autores

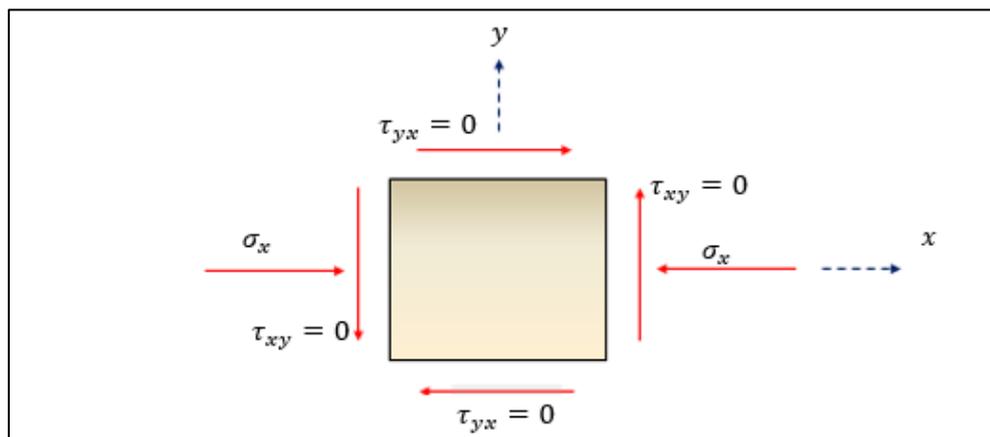


Figura 22. Estado de esfuerzo bidimensional sometido a compresión.

Fuente: Elaborado por los autores

Teoría de fatiga para carga dinámica

Esfuerzos medios en los ejes “y”, “z” y plano “xy”:

$$\sigma_{my} = 0 \quad ; \quad \sigma_{mz} = 0 \quad ; \quad \tau_{mxy} = 0$$

Esfuerzo de rango:

$$\sigma_{rx} = \sigma_M + \sigma_C = 39.66 + 3.86 = 43.52 \text{ MPa}$$

El límite de fatiga real:

Para evaluar el límite de resistencia a la fatiga real, se deben determinar los factores que reducen el ciclo de vida del material.

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S'_e$$

Dónde:

Ka= factor de superficie

Kb=factor de tamaño

Kc= factor de carga

Kd= factor de temperatura

Ke= factor efectos diversos (mantenimiento y otros)

S'_e = límite de fatiga teórico

Factor de superficie Ka:

El acero ASTM A-36 tiene como acabado superficial maquinado. Por lo tanto:

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

Dónde:

Sut: Resistencia última a la tracción, en MPa. Sut=400 MPa (Anexo 5).

a y b: Factores, el factor "a" tienen un valor de 4.51 MPa y el exponente "b" - 0.265 (Anexo 6).

Reemplazando:

$$K_a = 4.51 * (400)^{-0.265} = 0.92$$

Factor de tamaño Kb:

Para evaluar el factor de tamaño, se debe determinar el diámetro efectivo, del perfil estructural.

$$d = 0.808 * h$$

Dónde:

d: Diámetro efectivo, en mm.

h: Altura del perfil H 8X67, en mm. h=229 mm (Anexo A.4)

Reemplazando:

$$d = 0.808 * 229 = 185.032 \text{ mm}$$

El factor de tamaño, se determina:

$$K_b = 1.51 * d^{-0.157}$$

$$K_b = 1.51 * (185.032)^{-0.157} = 0.67$$

Factor de carga Kc:

Para cargas de compresión axial, el factor de carga es Kc=0.85 (Shigley, 2019).

Factor de temperatura K_d :

La máquina trabajará entre los rangos de temperatura de 20°C (temperatura media ambiental) y 50°C (como valor crítico de diseño). Del anexo 6, tenemos:

$$K_d = 1$$

K_e = factor efectos diversos o de confiabilidad:

Este factor define el grado de confiabilidad del diseño propuesto. Para lo cual el presente diseño del horno de fundición, se realizará con una confiabilidad del 99%. Del anexo 6, tenemos:

$$K_e = 0.814$$

Límite de resistencia a la fatiga teórico S'_e :

Es el esfuerzo libre de factores que modifican la vida del material, se determina mediante la siguiente expresión:

$$S'_e = 0.50 * S_u$$

$$S'_e = 0.50 * 400 \text{ MPa} = 200 \text{ MPa}$$

Entonces, el límite de resistencia a la fatiga real, sería:

$$S_e = 0.92 * 0.67 * 0.85 * 1 * 0.814 * 200 = 85.30 \text{ MPa}$$

Goodman modificada:

La teoría de falla Goodman modificada, es la más viable en el diseño de elementos de máquina, donde se requiere obtener un riguroso factor de seguridad.

$$N = \frac{S_e}{K_f * \sigma_r}$$

Dónde:

S_e : Esfuerzo límite de resistencia a la fatiga, en MPa. $S_e = 85.30 \text{ MPa}$

σ_{rx} : Esfuerzo de rango, en MPa. $\sigma_{rx} = 43.52 \text{ MPa}$

K_f : Factor de carga, $K=1$ (Anexo 7)

$$N = \frac{85.30}{1 * 43.52}$$

$$N = 2$$

Por lo consiguiente el sistema de compactación tiene un factor de seguridad aceptable.

4.4. DIMENSIONAR Y SELECCIONAR LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE FUNDICIÓN DE LOS RESIDUOS DE ALUMINIO

El tipo de horno que se ajusta a las condiciones descritas para la fundición de los residuos de aluminio será de crisol, porque tal como se especificó en el marco teórico, son los hornos de mayor eficiencia térmica, y se emplean para producciones entre 50 a 150 Kg/h, con una pérdida de escoria del 5%. Cabe precisar que se requiere fundir 83.51 Kg/h de residuos de aluminio para la provincia de Chiclayo, ajustándose a los requerimientos de un horno crisol, como se observa en la figura 24.

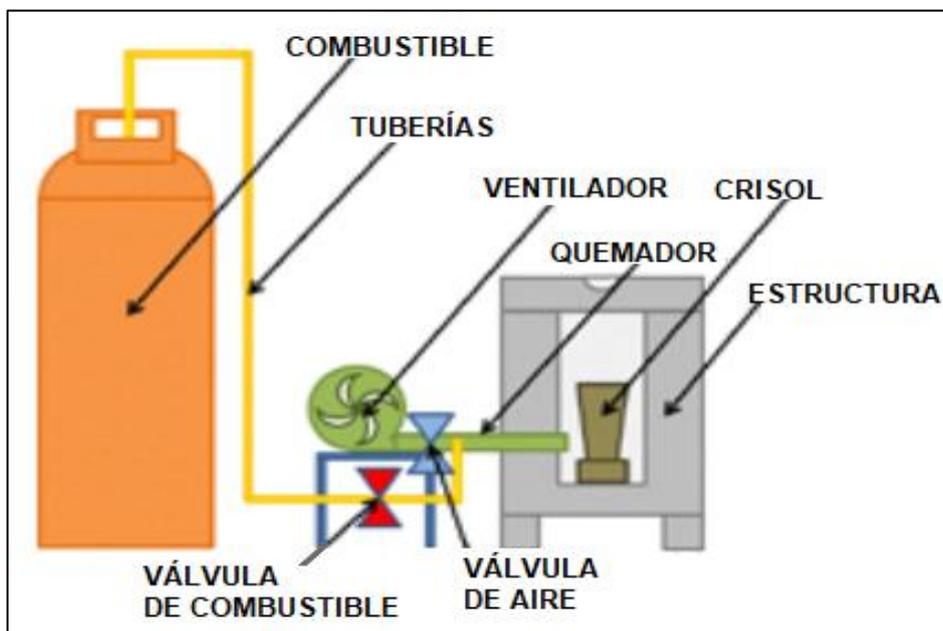


Figura 24. Partes de un horno crisol para la fundición de residuos de aluminio
Fuente: Elaborado por los autores

Dimensionamiento del crisol

El crisol debe tener la capacidad para una producción de 83.51 Kg/h. Donde el intervalo de fundición del aluminio es 30 minutos. Por lo cual la masa contenida en el crisol, sería:

$$m_{cr} = m_{rad} * t_f$$

Dónde:

m_{cr} : masa fundida de aluminio contenida en el crisol, en Kg.

m_{rad} : masa de residuos de aluminio diario, en Kg/min. $m_{rad}=83.51 \text{ Kg/h} = 1.392 \text{ Kg/min}$.

t_f : Tiempo de fundición, en min. $t_f = 30$ min.

Reemplazando:

$$m_{cr} = 1.392 * 30 = 41.76 \text{ Kg}$$

El volumen del aluminio contenido en el crisol, se determinará por la formulación:

$$V_{cr} = \frac{m_{cr}}{\rho_a}$$

Dónde:

m_{cr} : masa fundida de aluminio contenida en el crisol, en Kg. $m_{cr} = 41.76$ Kg.

V_{cr} : Volumen del aluminio contenido en el crisol, en m^3 .

ρ_a : Densidad del aluminio, en Kg/m^3 . $\rho_a = 2700$ Kg/m^3 .

Reemplazando:

$$V_{cr} = \frac{41.76}{2700} = 0.015 \text{ m}^3$$

En el anexo 8, se muestra la ficha técnica del crisol. Para lo cual se seleccionó un crisol refractario, modelo A-20, con una altura de 260 mm, diámetro interior mayor de 204 mm y diámetro interior menor de 145 mm. Para lo cual el volumen serío:

$$(V_{cr})_n = \frac{\pi * H}{3} * (D^2 + d^2 + D * d)$$

Dónde:

$(V_{cr})_n$: Volumen nominal del crisol, en m^3 .

H: Altura del crisol, en m. $h = 0.260$ m.

D: Diámetro interior mayor, en m. $D = 0.204$ m.

d: Diámetro interior menor, en m. $d = 0.145$ m.

Reemplazando:

$$(V_{cr})_n = \frac{\pi * 0.26}{3} * (0.204^2 + 0.145^2 + 0.204 * 0.145) = 0.0251 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, la selección del crisol es correcta, porque el volumen del crisol requerido es inferior al volumen del crisol nominal. $V_{cr} < (V_{cr})_n$.

Dimensionamiento y selección del quemador

En la figura 25, se observa el proceso de transferencia calor de los fluidos de ingreso o reactantes (aire y combustible) y los productos (gases calientes) en el quemador, donde se utilizará como combustible al gas natural.

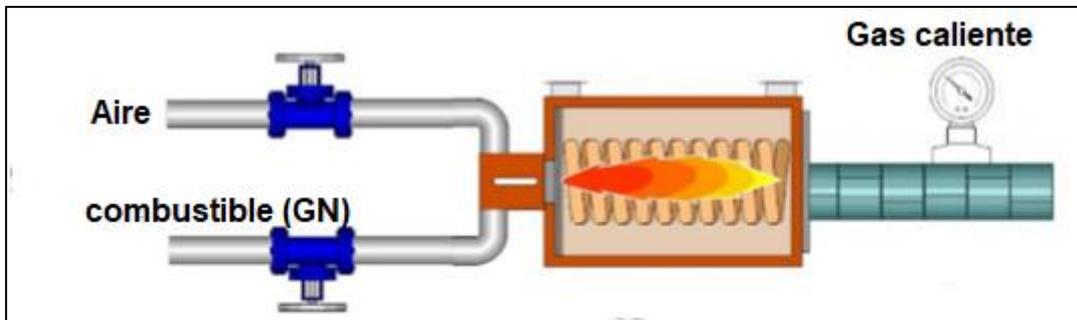


Figura 25. Quemador de gas natural.

Fuente: Elaborado por los autores.

El calor de combustión requerido, sería:

$$\dot{Q}_c = m_{\text{rad}} * c_p * (T_f - T_o) + m_{\text{rad}} * l_f$$

Dónde:

\dot{Q}_c : Potencia calorífica, en KW.

m_{rad} : masa de residuos de aluminio diario, en Kg/s. $m_{\text{rad}}=83.51 \text{ Kg/h} = 0.0232 \text{ Kg/s}$.

T_o : Temperatura media ambiental, en °C. $T_o = 20 \text{ °C}$.

C_p : Calor específico del aluminio, en KJ/Kg°C. $C_p = 0.910 \text{ KJ/Kg°C}$ (Anexo 9).

T_f : Temperatura de fusión del aluminio, en °C. $T_f = 660 \text{ °C}$.

l_f : Calor latente de fusión del aluminio, en KJ/Kg. $l_f = 397 \text{ KJ/Kg}$.

Reemplazando:

$$\dot{Q}_c = 0.0232 * 0.910 * (660 - 20) + 0.0232 * 397$$

$$\dot{Q}_c = 22.72 \text{ KW}$$

En el anexo 12, se muestra el quemador seleccionado a gas natural, modelo QH-200, con una potencia mínima de 15 KW y una potencia máxima de 59 KW. El cual incluye un ventilador de 1/4 HP.

Consumo de combustible:

El horno de fundición de crisol, empleará gas natural, por tener un mayor poder calorífico inferior, lo que reduce el consumo de gas. El flujo másico de gas natural, se determina mediante la siguiente expresión:

$$\dot{m}_c = \frac{\dot{Q}_c}{PCI}$$

Dónde:

\dot{m}_c : Es el flujo de másico de gas natural, en Kg/s.

\dot{Q}_c : Potencia calorífica, en KW.

PCI: Poder calorífico inferior del gas natural, en KJ/Kg. PCI = 39900 KJ/Kg (Anexo 11).

Reemplazando:

$$\dot{m}_c = \frac{22.72}{39900} = 5.70 * 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 2.05 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

4.5. ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO PARA LA FACTIBILIDAD DE LA MÁQUINA DE FUNDICIÓN DE RESIDUOS DE ALUMINIO GENERADOS EN LA PROVINCIA DE CHICLAYO.

Costos de inversión:

En la tabla 14, se muestran la inversión para el diseño del horno de fundición de residuos de aluminio, el cual incluye el sistema de compactación y el sistema de fundición. Los valores son en referencia al mercado local y nacional del Perú.

Tabla 14. Costos de inversión para el diseño del horno de fundición

Descripción	Cantidad	Valor unitario (S/)	Costo (S/)
Cilindro hidráulico, vástago d=60 mm, émbolo D=100 mm, carrera Lc=700 mm y compresión F=98.10 KN	1	3540.00	3540.00
Motor eléctrico trifásico del sistema hidráulico, 4HP, n=955 rpm, U=380 V, I=7.22 A, m= 36.10 Kg (incluye accesorios).	1	1850.00	1850.00
Bomba de aceite, Q=10 lt/min, impulsión d=1/4, succión d= 1/2 in.	1	520.00	520.00
Válvula de seguridad/alivio de 196.80 bar. d=1/4 in. Material bronce	2	122.00	244.00

Válvula de seguridad/alivio de P= 196.80 bar y d=3/8 in. Material bronce	1	175.00	175.00
Válvula de control P=30 bar, Tmáx=60°C y d=1/4 in. Material bronce	1	210.00	210.00
Válvula Check, d=1/4 in. P=60 bar. Material bronce.	2	128.00	256.00
Válvula Check, d=3/8 in. P=60 bar. Material bronce. Material bronce.	1	145.00	145.00
Válvula 2 posiciones y 4 vías Material Bronce. Impulsión d=1/4 in, retorno d=3/8 in, Q=7 lt/min.	1	786.00	786.00
Cilindro de expulsión, d=30 mm, D=50 mm, C=700 mm, F=27.58 KN	1	2180.00	2180.00
Filtro de impurezas y partículas, d=2.125 in, h= 3 in.	2	78.00	156.00
Depósito de aceite, 0.0156 m ³ . 25x25x25 cm.	1	215.00	215.00
Manguera hidráulica de succión, d=1/2 in y L=0.50 m	1	32.00	32.00
Manguera hidráulica de descarga, d=1/4 in y L= 3.5 m.	1	61.00	61.00
Manguera hidráulica de retorno, d=3/8 in y L= 3 m	1	84.00	84.00
Alambre calibre 14. D=0.080 in. S=60Ksi. 8760 m/año	1	0.25	2190.00
Tolva ASTM A-36, e=1/8 in. 2.56 m ² .	1	155.00	155.00
Camara de compactación ASTM A-36, e= 1 ¼ in (Frontal, posterior, inferior y superior) y e= 3/4 in (lateral derecho e izquierdo).	1	5680.00	5680.00
Estructura metálica ASTM A-36, perfil H 8X67, Iy=1.133*10 ⁻⁴ m ⁴ , Ast=0.0127 m ² y hf=1300mm	5	322.00	1610.00
Soldadura de filete, h=1/8 in, supercito E6018, Sy=60 Ksi, m=20 Kg.	20	25.00	500.00
Horno refractario de L= 500 mm, A = 500 mm y H= 1000 mm	1	3200.00	3200.00
Crisol refractario, D=204 mm, d= 145 mm y H=260 mm.	1	2800.00	2800.00
Quemador de gas natural QH 200, Qn=59 KW (incluye ventilador de ¼ HP y accesorios)	1	1200.00	1200.00
Tanque de GN, m=2.05 Kg/h. D=30 cm y h=180 cm	1	900.00	900.00
Mano de obra total (incluye obras mecánicas, eléctricas y transporte)	1	55000.00	55000.00
			83689.00

Gasto en combustible (G_c):

$$G_c = \dot{m}_c * T_p * C_{ug}$$

Dónde:

G_c : Gasto en combustible, en S/año.

\dot{m}_c : Es el flujo de másico de gas natural, en Kg/h. $\dot{m}_c = 2.05$ Kg/h.

T_p : Tiempo de operación, en h/año. $T_p = 8760$ h/año.

C_{ug} : Costo unitario del gas natural, en S/Kg. $C_{ug} = 3.529$ S/Kg.

Reemplazando:

$$G_c = 2.05 * 8760 * 3.529 = 63373.782 \frac{\text{Soles}}{\text{año}}$$

Gastos operativos (G_{op}):

Los gastos operativos incluyen los gastos de mantenimiento del horno de fundición y los costos al personal encargado del funcionamiento del proceso de fundición. Tal como se observa en la tabla 15, obteniendo un gasto anual de 63000.00 soles.

Tabla 15. Gastos operativos del horno de fundición.

Descripción	Cantidad	Gasto mensual (S/mes)	Gasto anual (S/año)
Mantenimiento	1	1500.00	18000.00
Personal operativo	3	1250.00	45000.00
Personal de reciclaje	4	1250.00	60000.00
Total			123000.00

Fuente: Elaborado por los autores

Ganancia por reciclado y fundición de aluminio (G_{rf}):

$$G_{rf} = m_{raa} * P_a$$

Dónde:

G_{rf} : Ganancia por reciclado y fundición de aluminio, en S/año.

m_{raa} : masa de residuos de aluminio anual, en Kg/año. $m_{raa} = 731560$ Kg/año.

P_a : Precio del aluminio, en S/Kg. $P_a = 7.616$ soles/Kg.

Reemplazando:

$$G_{rf} = 731560 * 7.616 = 5571560.96 \frac{\text{Soles}}{\text{año}}$$

Beneficio:

El beneficio es la diferencia de la ganancia por reciclado y fundición de aluminio, respecto de los gastos operativos y de combustible.

$$B = G_{rf} - (G_c + G_{op})$$

Dónde:

B: Beneficio útil, en S/año.

G_{rf}: Ganancia por reciclado y fundición de aluminio, en S/año.

G_c: Gasto en combustible, en S/año.

G_{op}: Gastos operativos, en S/año.

Reemplazando:

$$B = 5571560.96 - (63373.782 + 123000) = 5385187.178 \frac{\text{Soles}}{\text{año}}$$

Costo – Beneficio:

El costo – beneficio, permitirá definir la viabilidad económica para el diseño del horno de fundición de residuos de aluminio.

$$B/C = 5385187.178/83689.00 = 64.35$$

Por lo consiguiente por 1 sol invertido, se obtiene una utilidad de 64.35 soles, lo cual indica que, el diseño del horno de fundición de residuos de aluminio es rentable para la municipalidad provincial de Chiclayo.

V. DISCUSIÓN

Se planteó como primer objetivo específico el realizar un análisis de los residuos de aluminio generados en la provincia de Chiclayo, para definir la capacidad máxima de la máquina fundidora. Esto en base a los aportes de los autores Melwyn, et al. (2023) y Yang (2023), quienes sostienen que un análisis de los residuos sólidos y su proyección en el tiempo, conllevan a obtener un diseño óptimo. Asimismo, indican que el reciclaje de residuos de aluminio, es un proceso sistemático del aluminio desechado, luego de haber sido empleado como sostenimiento de algún producto consumible por la sociedad, el cual puede ser rehusado debido a sus ventajosas propiedades mecánicas, conllevando a tener un beneficio basado en una economía circular. Considerando esto, en la presente investigación, se realizó un análisis de los residuos de aluminio generados por la población de la provincia de Chiclayo, definiendo como la masa de estos cambia en el tiempo, de acuerdo al crecimiento poblacional, resultando que, el residuo sólido con mayor masa reciclada es la chatarra con 55.82% (partes o secciones de artefactos eléctricos y máquinas), seguido de los metales cobre, bronce y acero con 25.88%; y en tercer lugar tenemos a los residuos de aluminio (residuos de bebidas, depósitos, aerosoles, bandejas, chapas y tapas) con 7.72%. En cuarto lugar, se encuentra el papel y cartón (de color, blanco, mixto y periódico) con 6.03%, seguido en menores cantidades por los residuos de madera con 2.44% y vidrio 2.11%. También se encontró, que mientras la población aumenta, existe un ligero aumento en la producción de residuos de aluminio, para lo cual fue necesario realizar una proyección, según el tiempo de vida útil estimado de la máquina de 30 años, resultando que la proyección de los residuos de aluminio tiene un comportamiento de crecimiento lineal. Lo cual conlleva a determinar la capacidad máxima de los residuos de aluminio de 731.56 TM/año. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Melwyn, et al. (2023), Sheikh (2020), Hurtado (2023) y Nasimba (2020) quienes, especificaron

que la producción de una máquina debe diseñarse mediante el parámetro de su vida útil, donde el promedio de vida útil de una máquina fundidora que trabaja con residuos sólidos debe estar entre el rango los 25 a 30 años. Con esto se evidencia que es necesario proyectar los residuos sólidos, ya que estos repercuten sobre el diseño y por lo consiguiente sobre la producción en el proceso de fundición en el tiempo.

Se planteó como segundo objetivo específico el proponer 3 conceptos de diseño para el sistema de compactación de los residuos de aluminio. Esto en base a los aportes de los autores Subarjo (2021) y Radu (2023), quienes sostienen que, para poder realizar el proceso térmico de fundición, es importante comprimir los residuos de aluminio en bloques (placas), para de esta manera fundir uniformemente a una temperatura constante los residuos. Asimismo, se optimiza el espacio en el hogar del horno de fundición. Donde el sistema de compactación debe diseñarse según los requerimientos de un diseño eficiente y seguro para quienes tendrán a disposición la operación de la máquina. Considerando esto, en la presente investigación, se propuso 3 conceptos para el diseño de compactación de los residuos de aluminio (compactación automática en acción vertical; compactación semi automática vertical y compactación automática en acción horizontal), resultando como mejor concepto, la compactación automática en acción vertical. La cual fue seleccionada por poseer los mejores requerimientos tales como: función, geometría, cinemática, fuerza, energía, materiales, seguridad, ergonomía, costos y mantenimiento. El concepto seleccionado está constituido por un cilindro hidráulico con capacidad de compactación suficiente para comprimir la carga de residuos de aluminio, el cual estará en posición vertical; Además la estructura de dicha máquina deberá fabricarse de un material metálico. La recepción de la carga será por medio de una puerta y para la descarga del paquete se utilizará otro cilindro hidráulico, este se posicionará en horizontal. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Tjiroso (2020) y Subarjo (2021) quienes, especificaron que el sistema de compactación automática en acción vertical es el mejor concepto de diseño en el tratamiento de residuos sólidos para el proceso de fundición. Con esto se evidencia que un sistema de compactación vertical tiene los mejores

requerimientos de diseño, para obtener bloques de aluminio, los cuales se funden eficientemente aprovechando el máximo calor de combustión en el horno.

Se planteó como tercer objetivo específico el dimensionar y seleccionar los componentes estructurales, mecánicos y eléctricos del sistema de compactación de residuos de aluminio. Esto en base a los aportes de los autores Melwyn, et al. (2023) y Rasul, et al. (2022), quienes sostienen que un sistema de compactación para que sea eficaz debe tener un correcto dimensionamiento y selección de sus componentes estructurales, mecánicos y eléctricos, que conlleven a obtener un factor de seguridad óptimo. Considerando esto, en la presente investigación, se dimensionó y seleccionó los componentes estructurales, mecánicos y eléctricos del sistema de compactación de residuos de aluminio, resultando que para procesar 83.51 Kg/h de residuos sólidos de aluminio, se necesita compactar en bloques de 800 x 400 x 400 mm. Donde la compactadora tiene una altura de 2000 mm, largo 1000 mm y ancho 400 mm, con una rapidez de compactación de 6 bloques/día. La presión de trabajo es 200 bar, con una fuerza de compresión de 10 toneladas. El vástago es 60 mm y diámetro de émbolo de 100 mm. El caudal del cilindro hidráulico es 7 l/minuto, con un motor eléctrico de 4 HP para un tiempo de compactación por bloque de 5 minutos. Las tuberías de succión son de calibre 1/2 in, la descarga 1/4 in y las de retorno 3/8 in. Ultimando que el diseño tiene un factor de seguridad viable de 2. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Melwyn, et al. (2023) quien, diseño un sistema de compactación, para comprimir bloques 100 Kg de chatarra de aluminio de dimensiones de 550x220x220 mm, con 10 bloques/día, para lo cual requirió de un motor eléctrico de 2 HP con un factor de seguridad de 1.85. También coinciden con Subarjo (2021) quien, explicó que los residuos de aluminio para una mejor fundición deben estar compactados, permitiendo tener una mejor transferencia de calor por convección en la máquina con un factor de seguridad de 2.5. Con esto se evidencia que los componentes estructurales, mecánicos y eléctricos influyen en el factor de seguridad de la máquina.

Se planteó como cuarto objetivo específico el dimensionar y seleccionar los componentes del sistema de fundición de los residuos de aluminio. Esto en base a los aportes del autor Radu (2023) explicó que el sistema de fundición es el más crítico respecto a lo económico y técnico, donde se deben dimensionar y

seleccionar correctamente los componentes intervinientes en este proceso, lo cual llevará a obtener menores costos en el consumo de combustible en la fundición. Considerando esto, en la presente investigación, se dimensionó y seleccionó los componentes del sistema de fundición, obteniendo un crisol de refractario de 260 mm de altura, 204 mm de diámetro mayor y 145 mm de diámetro menor, para fundir 41.76 Kg cada 30 minutos a 660°C. Asimismo, el quemador es de una potencia de 59 KW, con ventilador de tiro forzado de ¼ HP, con un consumo de gas natural de 2.05 Kg/h. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Subarjo (2021) quien, proceso 1000 gr de residuos de aluminio a una temperatura de 707°C en un tiempo de 25 minutos, empleando un horno de crisol de 30 cm de diámetro interior y altura de 15 cm. También coinciden con Tjiroso (2020) quien, indicaron que se puede fundir 0.5 Kg de aluminio, empleando con fundición lenta de 55 minutos con una temperatura de 690°C, donde el óptimo horno de fundición es de crisol de material refractario. Asimismo, tiene similitud con Melwyn, et al. (2023) quienes, indican que la temperatura adecuada para fundir los residuos de aluminio es de 700°C durante un periodo de 30 minutos, para de esta manera obtener la menor cantidad de escoria, empleando como horno de fundición el de tipo crisol, con una potencia de 22 KW, para obtener lingotes de 8 mm de diámetro y 10 mm de altura. Por otro lado, no coincide con Rasul, et al. (2022) quienes para fundir el aluminio utilizaron un horno eléctrico para una producción de 3 Kg con temperaturas de fusión entre 810 a 910°K, empleando como fuente de calentamiento un serpentín eléctrico con un consumo de 16 A, detallando que para grandes de producciones de fundición de aluminio se debe emplear gas natural o gas licuado de petróleo, para una mejor confiabilidad en calidad, eficiencia del proceso y reducción en los costos del consumo de combustible. Se debe tener a consideración que el gas natural tiene un menor costo unitario debido a un mayor poder calorífico inferior frente al gas licuado de petróleo. Con esto se evidencia que los hornos de crisol con gas natural, son los adecuados para el proceso de fundición del aluminio.

Se planteó como quinto objetivo específico el realizar un análisis costo - beneficio para la factibilidad de la máquina de fundición de residuos de aluminio generados en la provincia de Chiclayo. Para el análisis costo – beneficio, se determinó los costos de inversión basado en los valores de referencia local y nacional. También

se determinó el gasto en combustible, para lo cual se consideró el costo unitario promedio actual del gas natural de 3.529 soles/Kg, teniendo en consideración que este valor tiene picos de fluctuación, pero siempre es más rentable que el gas licuado de petróleo, petróleo residuales o Diésel. Asimismo, se calculó los gastos operativos, respecto al mantenimiento y personal encargado de la operación y reciclaje de los residuos de aluminio, considerando el pago que percibe un trabajador de la municipalidad provincial de Chiclayo. De esta manera se pudo determinar que el B/C del proyecto es 64.34, el cual es viable para la municipalidad, debido a que, por cada 1 sol invertido en el proyecto, se tiene un beneficio de 64.34 soles.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Se realizó un análisis de los residuos de aluminio generados en la provincia de Chiclayo, encontrando un acumulado de 5282.65 TM entre los años 2015 y 2022, representando el 7.72% del total de los residuos sólidos. Por lo cual fue necesario una estimación de los residuos de aluminio en el tiempo para el diseño del horno de fundición, obteniendo un valor estable promedio de 731.56 TM por año.
- 6.2. De los 3 conceptos propuestos para el diseño de compactación de los residuos de aluminio, resultó como mejor concepto, la compactación automática en acción vertical. La cual fue seleccionada por poseer los mejores requerimientos tales como: función, geometría, cinemática, fuerza, energía, materiales, seguridad, ergonomía, costos y mantenimiento.
- 6.3. Se dimensionó y seleccionó los componentes estructurales, mecánicos y eléctricos del sistema de compactación de residuos de aluminio, resultando que para procesar 83.51 Kg/h de residuos sólidos de aluminio, se necesita compactar en bloques de 800 x 400 x 400 mm. Donde la compactadora tiene una altura de 2000 mm, largo 1000 mm y ancho 400 mm, con una rapidez de compactación de 6 bloques/día. La presión de trabajo es 200 bar, con una fuerza de compresión de 10 toneladas. El vástago es 60 mm y diámetro de émbolo de 100 mm. El caudal del cilindro hidráulico es 7 l/minuto, con un motor eléctrico de 4 HP para un tiempo de compactación por bloque de 5 minutos. Las tuberías de succión son de calibre 1/2 in, la descarga 1/4 in y las de retorno 3/8 in. Ultimando que el diseño tiene un factor de seguridad viable de 2.
- 6.4. Se dimensionó y seleccionó los componentes del sistema de fundición, obteniendo un crisol de refractario de 260 mm de altura, 204 mm de diámetro mayor y 145 mm de diámetro menor, para fundir 41.76 Kg cada 30 minutos.

Asimismo, el quemador es de una potencia de 59 KW, con ventilador de tiro forzado de ¼ HP, con un consumo de gas natural de 2.05 Kg/h.

6.5. El proyecto es factible económicamente con un costo – beneficio de 64.35, es decir que, por cada sol invertido, se obtiene una utilidad de 64.35 soles, generando rentabilidad para la municipalidad provincial de Chiclayo. La inversión es de 83689.00 soles y el beneficio útil 5385187.178 soles/año.

VII. RECOMENDACIONES

7.1. Se recomienda automatizar el sistema de compactación del horno de fundición mediante un algoritmo de control PID (Proporcional Integral Derivativo), para aumentar la eficacia del proceso.

7.2. Se recomienda un plan de mantenimiento preventivo para el sistema de compactación y sistema de fundición. Para de esta manera tener una buena disponibilidad del horno de fundición, donde sus activos fijos o elementos alcancen su vida útil, evitando gastos excesivos en el mantenimiento.

7.3. Se recomienda mantener una temperatura de fundición de 700°C, para obtener una masa de escoria inferior o igual al 5%. De esta manera el proceso de fundición va a realizarse de manera eficiente.

7.4. Se recomienda siempre utilizar como fuente de combustión, al combustible gas natural, debido a su mayor poder calorífico inferior, en comparación al gas licuado de petróleo, carbón o petróleo.

7.5. Se recomienda capacitar al personal operativo que se encargará de la operación del horno de fundición, respecto a su control, mantenimiento y parámetros de funcionamiento.

REFERENCIAS

ARIAS Gonzáles, José y Covinos Gallardos, Mitsuo. Diseño y metodología de la investigación. Segunda. Lima: Enfoques Consulting, 2021. pág. 133. ISBN: 978-612-48444-2-3.

BAGAWAN, A, y otros. Solid waste issue: Sources, composition, disposal and recycling. India: International Journal of Research in Engineering and Innovation, 2021. ISSN: 2456-6934.

BAENA, Guillermina. Metodología de la Investigación. [ed.] 3. México: Grupo Editorial Patria, 2020. ISBN: 9786077447481.

BROUGH, Daniel. The aluminium industry: A review on state-of-the-art technologies, environmental impacts and possibilities for waste heat recovery. Inglaterra: International Journal of Thermofluids, 2020. ISSN: 1000-0007.

CAPRA, Leonardo. Study of fluxing in Al refining process by rotary and crucible furnaces. Italia: International Journal of Sustainable Engineering, 2020. ISSN: 393-022.

DA COSTA, Eleani. Casting Alloy Design and Characterization. Brasil: Publisher of Open Access Journals MDPI, 2022. ISSN: 1207-1228.

FLORES, Alfredo, Juárez, Rodrigo y Valverde, Alfredo. Mathematical Modelling for Furnace Design Refining Molten Aluminum. China: University of Electronic Science and Technology of China, 2021. ISSN: 1111-1798.

GARCIA, Rafael. Industria Limpia con Hornos de Inducción Térmica. Estados Unidos: Revista de ingeniería de diseño de hornos de fusión, 2021. ISSN: 5873-8513.

GUO, Z. Research on low-carbon smelting technology of blast furnace – optimized design of blast furnace. China: Processes, Products and Applications, 2021. ISSN: 1889-908.

HALL, Allen, Holowenko, Alfred y Laughlin, Herman. Diseño de Maquinas: Teoría y Problemas Resueltos. Rusia: McGraw-Hill Book Company, 2019. ISBN: 9684510772.

HARUNA, Abdullahi. Design and construction of gas and charcoal-fired crucible furnace. India : Magazine of materials and procedures, 2022. ISSN: 2031-2035.

HERNÁNDEZ, R., Fernández, C. y Baptista, P. Metodología de la Investigación. Buenos Aires: McGraw-Hill, 2020. 500 pp. ISBN 968-422-931-3.

HOWEL, John y Buckius, Richard. Principles of Thermodynamics for Engineers. Mexico: McGraw Hill, 2021. ISBN: 988-422-571-7.

HURTADO Trejos, Hugo. Máquina fundidora e inyectora de plástico reciclado. Colombia: Institución Universitaria Antonio José Camacho, 2023. pág. 158.

INEI. Reporte poblacional de la provincia de Chiclayo 2015 - 2022. Provincia de Chiclayo: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022. pág. 36.

IZQUIERDO, Luis. Identification of urban sectors prone to solid waste accumulation: A machine learning approach based on social indicators. Lima: Computers, Environment and Urban Systems, 2022. ISSN 101-834.

KREITH, Frank, Manglik, Raj y Bohn, Mark. Principios de transferencia de calor. Octava. México: Editores Corporativo Santa Fe, 2020. pág. 525. Vol. III. ISBN: 978-607-481-615-0.

MELWYN, Gottmyers, Chandragandhi, Bhagyanathan y Srinath, Sathiyaseelan. Aluminium scrap recycling in a production furnace: Minimizing dross formation for sustainable and efficient recovery. India: Materials Today: Proceedings, 2023. ISSN: 2214-7853.

MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). Impulsar el consumo responsable y reducir la generación de residuos sólidos. Lima: El Peruano, 2023.

MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). Nueva ley y reglamento de residuos sólidos. Lima: Nueva ley de gestión integral de residuos sólidos, D.L. N°1278, 2023.

NASIMBA, Pachacama Víctor. Diseño de máquina de moldes de arena para utilizar en la fundición metálica. Ecuador: Universidad internacional SEK, 2020. pág. 19. ISSN: 2550 - 682X.

PADAMATA, Sai. A Review of Secondary Aluminum Production and Its Byproducts. Civil and Environmental Engineering: Alemania, 2021. ISSN: 2603–2614.

RASUL, Sardam, y otros. Design of an Aluminum Foundry with Ceramic Fiber Insulation. Irak: Iraqi Journal of Industrial Research (IJOIR), 2022. ISSN: 1912-1840.

REGISTRO NACIONAL DE MUNICIPALIDADES (RENAMU). Perú: Economía y Diversidad Biológica, Ministerio del Ambiente. Lima: Ministerio de Salud (MINS) - Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)., 2022.

REZANI, Surahmanto, y otros. Redesigning mini compact crucible furnace to improve its. Indonesia: Journal of Physics: Conference Series, 2020. ISSN: 1742-6596.

RODRIGUEZ, Fernando. Física de fluidos y termodinámica. Quinta. Estados Unidos: Editores ECCI, 2021. pág. 635. Vol. II. ISBN: 258-987-568-011.

SARKER, Shibli. Design and analysis of pipe networks: an example with WaterCAD. India : Engrxiv, 2021. 59 pp.

SCHRADER, Kristyn. World Bank Report: Global Waste. Estados Unidos: World Bank, 2022. ISSN: 3258-5689.

SHEIKH, Anwar. Enhancing teaching and research skills in metal casting through a virtual casting lab. Arabia Saudita: Engineering Reports, 2020. pág. 18. ISSN: 2577-8196.

SHIGLEY, J. Diseño en ingeniería mecánica. México: McGraw-Hill, 2019. ISBN:9780073121932.

SINGER, Ferdinand. Resistencia de materiales. México: Editorial de la Escuela Politécnica Superior del Ejército, 2020. ISBN: 968-6356-13-4.

SINIA. Reporte estadístico de residuos sólidos de la provincia de Chiclayo. Chiclayo: Sistema Nacional de Información Ambiental, 2021. pág. 55.

SUBARJO, Triwidodo. Manufacturing of Aluminum Metal Smelting Furnaces with. Indonesia: International Conference On Agriculture and Applied Science, 2021. ISSN: 2776-043X.

TIMELLI, Giulio. Preparation and Melting of Scrap in Aluminum Recycling: A Review. Italia: Publisher of Open Access Journals (MDPI), 2020. ISSN: 8040-2490.

TJIROSO, B. Design of Aluminium Melting Furnace Using Coconut Shell Charcoal on Laboratory Scale as Learning Medium. Indonesia: Journal of Physics: Conference Series, 2020. ISSN: 1742-6596.

TORRES, Manuel. Curso de máquinas hidráulicas. Lima : s.n., 2021. pág. 152.

VIDOSIC, Joseph. Machine Design Projects. New York: The Ronald Press, 2019. ISBN: 958758612342.

WESTON, Claudio. Transferencia de Calor, Masa y Momentum. Tercera. Madrid: Ediciones UC, 2019. pág. 166. Vol. II. ISBN: 978-956-141-210-1.

WHITE, Frank. 2019. Mecánica de Fluidos. Octava. Madrid: McGraw Hill, 2019. 850 pp. ISBN: 8448140761.

YANG, Xue. Advanced Fabrication and Multi-Properties of Aluminum-Based Aerogels from Aluminum Waste for Thermal Insulation and Oil Absorption Applications. China: National Institutes of Health, 2023. ISSN: 2806-2727.

ZAMORA, Blas. Hydraulic machines: theory and problems. Colombia: Polytechnic University of Cartagena, 2021. ISBN: 9788416325191.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Diseño de máquina fundidora	Una máquina fundidora, realiza un proceso que consiste en transformar el estado sólido de un elemento, conllevándolo a un estado líquido, mediante el calentamiento a elevadas temperaturas de fusión. Donde el líquido se enfría de manera constante o rápida en un molde, para solidificarse y de esta manera adoptar la forma deseada (Da Costa, 2022).	En el diseño de una máquina fundidora, se deben tener dos consideraciones: los parámetros estructurales y los parámetros de operación. La combinación de ambos parámetros permite obtener un diseño óptimo.	Parámetros estructurales	Resistencia mecánica de los materiales (MPa)	De Razón
				Geometría de los elementos del sistema de compactación (mm)	
				Fuerza de compresión (KN)	
				Presión de trabajo (bar)	
				Esfuerzos combinados (MPa)	
			Parámetros de operación	Masa de residuos de aluminio (Kg)	
				Tiempo de fundición (min).	
				Dimensiones de los bloques de aluminio (mm)	
				Rapidez de compactación (bloques/día)	
Potencia mecánica (KW)					
Residuos sólidos de aluminio	Es un proceso sistemático del aluminio desechado, luego de haber sido empleado como sostenimiento de algún producto consumible por la sociedad, el cual puede ser rehusado debido a sus ventajosas propiedades mecánicas (Yang, 2023).	Los residuos de aluminio dependen de cantidad de residuos sólidos y de la proyección de estos en el tiempo	Cantidad de residuos sólidos	Masa de residuos sólidos de aluminio (Kg/año)	De Razón
				% Porcentaje de residuos de aluminio.	
			Proyección de residuos sólidos en el tiempo	Tiempo de proyección (años).	
				Crecimiento poblacional (hab./año)	

Ficha de observación		
Diseño de máquina fundidora para disminuir los residuos sólidos de aluminio en la provincia de Chiclayo		 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
Objetivo	Recolectar información respecto al sistema de gestión de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Chiclayo.	
Institución	Municipalidad Provincial de Chiclayo	
Fecha	20-09-2023	
Elaborado	Aguilar Chávez, Delvis Omar; Bustamante Tenorio, Carlos Jesús	
Ítems	Formulación	Observación
1	¿La municipalidad provincial de Chiclayo cuenta con un sistema de gestión general de residuos sólidos?	
2	¿Cuál es el proceso de reciclaje de la municipalidad provincial de Chiclayo?	
3	¿La municipalidad cuenta con un plan de gestión para reciclar los sólidos de aluminio?	
4	¿La municipalidad actualmente obtiene, beneficios económicos mediante la recolección de residuos?	
5	¿Cuál (es) son los residuos más desechados por la población de Chiclayo?	
6	¿Qué uso tienen los sólidos residuales reciclados por la municipalidad?	
7	¿Existe un presupuesto económico designado por la municipalidad para el reciclado de sólidos residuales?	
8	¿Es viable la recolección de residuos de aluminio por parte de la municipalidad provincial de Chiclayo?	
9	¿Qué tipo de sólidos residuales son enviados a los vertederos o rellenos sanitarios?	

Anexo 3. Ficha técnica del motor eléctrico de 4 HP para accionamiento del sistema de lubricación.



Datos técnicos del motor:

MODELO	HP	kW	POLOS	Vpm	Plena Carga INTENSIDAD (A)		Arranque Directo		COS ϕ 100% de Carga	RENDIMIENTO 100% de Carga	PESO Kg
					220 V / 380 V	380 V / 660 V	IA / IN	CA / CN			
MT711-6	0,25	0,18	6	905	1,11 / 0,64		4	1,6	0,67	63	6
MT712-6	0,33	0,25	8	885	1,56 / 0,90		4	2,1	0,67	62,6	6,5
MT801-6	0,50	0,37	6	920	2,06 / 1,19		4	1,9	0,69	68,1	8,2
MT802-6	0,75	0,55	6	920	2,74 / 1,59		4	2	0,73	72,5	9,9
MT90S-6	1	0,75	6	920	3,83 / 2,22		5,5	2,2	0,71	72,5	11,7
MT90L-6	1,5	1,1	6	910	5,47 / 3,17		5,5	2,2	0,72	73,5	15,1
MT100L-6	2	1,5	6	945	7/4,05		6	2,2	0,76	74	18,8
MT112M-6	3	2,2	6	925	9,3 / 5,38		6	2,2	0,78	79,2	25,4
MT132S-6	4	3	6	955	12,5 / 7,22		6,5	2	0,77	82,5	36,1

Datos técnicos de la bomba:

Caudal	10 l/min (2.7 gal/min)
Ciclos por litro (aprox.)	85 cycles
Consumo de aire	285 NL/min (10 scfm)
Diámetro efectivo de motor de aire	60 mm (2.5 ")
Entrada de fluido	1" BSP (F)
Entrega por ciclo	10 l (2.7 gal)
Fluidos	Fluido de transmisión, Aceite hidráulico, Aceite lubricante, Aceite engranajes
Materiales de zonas húmedas	NBR, PTFE, Acero, Poliuretano, Aluminio
Máxima presión de salida	30 bar (435 psi)
Máximo caudal a salida libre (SI)	11.1 gal/min, 42 l/min, 42 l/min
Montaje de bomba	Bomba mural
Nivel de ruido	93 dB
Peso	5.7 kg (12.6 lb)
Rango de presión de aire	1.5 - 10 bar (21.75 - 145 psi)
Ratio de presión	3:1
Salida de fluido	3/4" NPSM (F)

Anexo 4. Propiedades geométricas del perfil estructural "I" de carga promedio

Designación	Altura		Ala		Distancia					Área	Peso		Superficie		Eje Y-Y			Eje Z-Z			Mód. plástico		Inercia Tors.
	h	t _w	b	t _f	r	h ₁	d	P _{mín}	P _{máx}	mm ²	kg/m	lbs/ft	A ₁	A ₂	L _y	W _{dy}	I _y	L _z	W _{dz}	I _z	W _{pl,y}	W _{pl,z}	I _t
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	x10 ²			m ² /m	m ² /t	mm'	mm ³	mm ⁴	mm'	mm ³	mm ⁴	mm ³	mm ³	mm ⁴
																x10 ⁴	x10 ³	x10	x10 ⁴	x10 ³	x10	x10 ³	x10 ³
W 4 x 13	106	7.1	103	8.8	6	88.4	76.4	-	-	24.7	19.3	13	0.599	30.902	476	89.79	4.39	161	31.19	2.55	103.3	47.9	6.52
W 5 x 16	127	6.1	127	9.1	8	108.8	92.8	60	70	30.3	23.8	16	0.736	30.946	886	139.50	5.41	311	48.98	3.20	157.2	74.7	8.10
W 5 x 19	131	6.9	128	10.9	8	109.2	93.2	62	70	36.0	28.1	19	0.746	26.423	1.099	167.70	5.53	381	59.60	3.26	190.9	90.9	13.33
W 6 x 9	150	4.3	100	5.5	6	139	127	-	-	17.3	13.5	9	0.681	50.193	686	91.40	6.29	92	18.36	2.30	102.4	28.3	1.74
W 6 x 12	153	5.8	102	7.1	6	138.4	126.4	-	-	22.8	18.0	12	0.692	38.596	916	122.10	6.33	126	25.37	2.36	138.6	39.3	3.86
W 6 x 16	160	6.6	102	10.3	6	139.4	127.4	-	-	30.5	24.0	16	0.704	29.404	1.342	167.80	6.63	183	35.80	2.45	191.5	55.2	9.35
W 6 x 15	152	5.8	152	6.6	6	138.8	126.8	70	82	28.4	22.5	15	0.890	39.893	1.206	158.60	6.51	387	50.87	3.68	176.1	77.6	4.34
W 6 x 20	157	6.6	153	9.3	6	138.4	126.4	72	84	37.9	29.8	20	0.902	30.333	1.714	218.40	6.73	556	72.62	3.83	243.9	110.5	10.16
W 6 x 25	162	8.1	154	11.6	6	138.8	126.8	74	84	47.3	37.1	25	0.913	24.613	2.220	274.10	6.85	707	91.79	3.86	309.9	140.0	19.51
W 8 x 10	200	4.3	100	5.2	8	189.6	173.6	-	-	19.1	15.0	10	0.778	51.861	1.280	128.00	8.18	87	17.38	2.13	145.2	27.1	1.93
W 8 x 13	203	5.8	102	6.5	8	190	174	-	-	24.8	19.3	13	0.789	40.463	1.662	163.70	8.17	115	22.63	2.15	188.1	35.7	3.99
W 8 x 15	206	6.2	102	8	8	190	174	-	-	28.6	22.5	15	0.794	35.299	2.004	194.50	8.36	142	27.85	2.22	222.8	43.7	5.97
W 8 x 14	203	5	134	6.4	8	190.2	174.2	62	76	27.2	21.4	14	0.918	42.988	1.993	196.31	8.56	257	38.35	3.07	219.0	58.9	3.76
W 8 x 18	207	5.8	133	8.4	8	190.2	174.2	62	76	33.9	26.6	18	0.921	34.571	2.587	250.00	8.72	330	49.60	3.11	279.8	76.2	7.35
W 8 x 21	210	6.4	134	10.2	8	189.6	173.6	64	76	40.0	31.3	21	0.929	29.586	3.139	298.90	8.87	410	61.13	3.20	335.3	93.8	12.04
W 8 x 24	201	6.2	165	10.2	10	180.6	160.6	78	96	45.7	35.9	24	1.032	28.769	3.438	342.10	8.67	764	92.64	4.09	379.4	141.1	14.56
W 8 x 28	205	7.2	166	11.8	10	181.4	161.4	80	96	53.1	41.7	28	1.042	25.011	4.088	398.80	8.77	901	108.50	4.12	445.6	165.5	22.39
W 8 x 31	203	7.2	203	11	10	181	161	94	110	58.6	46.1	31	1.186	25.813	4.545	447.80	8.81	1,535	151.20	5.12	495.6	229.5	22.27
W 8 x 35	206	7.9	204	12.6	10	180.8	160.8	94	110	66.5	52.0	35	1.195	22.875	5.268	511.50	8.90	1,784	174.90	5.18	569.0	265.5	32.41
W 8 x 40	210	9.1	205	14.2	10	181.6	161.6	96	112	75.6	59.0	40	1.205	20.297	6.113	582.20	8.99	2,040	199.10	5.19	652.9	302.8	46.86
W 8 x 48	216	10.2	206	17.4	10	181.2	161.2	98	112	91.0	71.0	48	1.218	17.051	7.658	709.00	9.18	2,537	246.30	5.28	802.8	374.5	82.02
W 8 x 58	222	13	209	20.6	10	180.8	160.8	100	116	110.5	86.0	58	1.237	14.262	9.467	852.90	9.26	3,138	300.30	5.33	980.5	458.2	140.80
W 8 x 67	229	14.5	210	23.7	10	181.6	161.6	102	116	126.7	100.0	67	1.252	12.583	11.330	989.10	9.45	3,663	348.90	5.38	1,149.0	532.9	211.30

Fuente: Libro de diseño de elemento de máquinas Russell (2018)

Anexo 5. Propiedades mecánicas del ASTM A-36

Propiedades del Acero Estructural ASTM – A36				
Propiedades Mecánicas		Símbolo	Valor	Unidades
Densidad			7860	Kg/m3
Resistencia última	Tensión		400	MPa
Fluencia	Tensión		250	MPa
	Cortante		145	MPa
Módulo de Elasticidad			200	GPa
Módulo de Rigidez			77.2	GPa
Coeficiente de Expansión Térmica			11.7	
Ductilidad (% 50mm)			21	%

Fuente: Singer (2020).

Material		
Nombre	Steel ASTM 36	
General	Densidad de la masa	7.85 g/cm ³
	Límite elástico de compresión	250 Mpa
	Límite elástico	152 Mpa
	Tensión de rotura	400 Mpa
Esfuerzo	Coeficiente de Poisson	0.3 ul
	Módulo de corte	76.9073 Gpa

Fuente: Hall et al., (2019).

Anexo 6. Tablas de análisis por fatiga

Factor de acabado superficial

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: Shigley (2019)

Factor de temperatura

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020

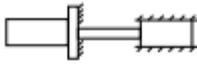
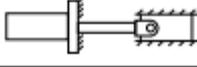
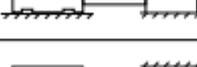
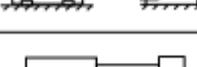
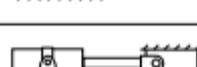
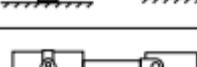
Fuente: Shigley (2019)

Factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_u	Factor de confiabilidad k_u
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814

Fuente: Shigley (2019)

Anexo 7. Factores de diseño en cilindros – pistones

FIJACIÓN DEL CILINDRO CYLINDER MOUNTING	FIJACIÓN EXTREMO VÁSTAGO PISTON ROD END	REPRESENTACIÓN DEL MONTAJE MOUNTING REPRESENTATION	k
BRIDA DELANTERA (TIPO A) FRONT FLANGE (FORM A)	Fijado y guía rígida <i>Fixed and rigid guide</i>		0,5
	Articulado y guía rígida <i>Jointed and rigid guide</i>		0,7
	Apoyado y guía no rígida <i>Supported and non rigid guide</i>		2
BRIDA TRASERA (TIPO B) REAR FLANGE (FORM B)	Fijado y guía rígida <i>Fixed and rigid guide</i>		1
	Articulado y guía rígida <i>Jointed and rigid guide</i>		1,5
	Apoyado y guía no rígida <i>Supported and non rigid guide</i>		4
POR CHARNELA (TIPO C/D) CELVIS (FORM C/D)	Fijado y guía rígida <i>Fixed and rigid guide</i>		2
	Articulado y guía no rígida <i>Jointed and non rigid guide</i>		4
PATAS (TIPO E) FEET (FORM E)	Fijado y guía rígida <i>Fixed and rigid guide</i>		0,5
	Articulado y guía rígida <i>Jointed and rigid guide</i>		0,7
	Apoyado y guía no rígida <i>Supported and non rigid guide</i>		2
BULONES (TIPO F) TRUNNIONS (FORM F)	Articulado y guía rígida <i>Jointed and rigid guide</i>		1,5
	Apoyado y guía rígida <i>Supported and non rigid guide</i>		3

Anexo 8. Ficha técnica de crisoles



Ficha técnica

Crisoles

Código: SF-051 (831)

Versión:2

Revisión: 01/08/2018



Descripción

Los crisoles están fabricados de cerámica refractaria, ofrecen la ventaja del calentamiento indirecto de metales como el bronce, aluminio, samak, plata, oro, plomo y zinc, además de bajas pérdidas de metal y alta calidad que se logra evitando el contacto directo del metal fundido con los productos de combustión.

Los crisoles ofrecen a las fundiciones de metales un nivel de calidad y flexibilidad sin igual.

Aplicaciones

- *Fundición de metales
- *Diseñados para ser usados en muestras continuas

Características:

- *Temperatura de uso hasta 1200°C
- *Genera bajas pérdidas de metal
- *Alta resistencia a la oxidación
- *Alta resistencia a la abrasión
- *Alta resistencia mecánica
- *Alta resistencia contra choque térmico

Referencia	Altura (mm)	Diametro (mm)	d (mm)
A - 4	145	115	72
A - 5	155	123	83
A - 10	200	161	110
A - 12	217	170	117
A - 14	220	184	128
A - 16	232	193	132
A - 20	260	204	145
A - 25	259	216	155
A - 30	286	234	166
A - 40	313	265	191
A - 50	330	282	203
A - 80	374	311	222



Anexo 9. Calores específicos de diversas sustancias

Sustancia	Calor específico (J/kg · K)	Masa molar (kg/mol)	Capacidad calorífica molar (J/mol · K)
Aluminio	910	0.0270	24.6
Berilio	1970	0.00901	17.7
Cobre	390	0.0635	24.8
Etanol	2428	0.0461	111.9
Etilenglicol	2386	0.062	148.0
Hielo (cerca de 0°C)	2090	0.0180	37.8
Hierro	470	0.0559	26.3
Plomo	130	0.207	26.9
Mármol (CaCO ₃)	879	0.100	87.9
Mercurio	138	0.201	27.7
Sal	879	0.0585	51.4
Plata	234	0.108	25.3
Agua (líquida)	4190	0.0180	75.4

Fuente: Kreith et al. (2020).

Anexo 10. Propiedades termodinámicas de diversas sustancias

Sustancia	Punto de fusión (°C)	Calor latente de fusión (J/kg)	Punto de ebullición (°C)	Calor latente de vaporización (J/kg)
Helio	-269.65	5.23×10^3	-268.93	2.09×10^4
Nitrógeno	-209.97	2.55×10^4	-195.81	2.01×10^5
Oxígeno	-218.79	1.38×10^4	-182.97	2.13×10^5
Alcohol etílico	-114	1.04×10^5	78	8.54×10^5
Agua	0.00	3.33×10^5	100.00	2.26×10^6
Azufre	119	3.81×10^4	444.60	3.26×10^5
Plomo	327.3	2.45×10^4	1 750	8.70×10^5
Aluminio	660	3.97×10^5	2 450	1.14×10^7
Plata	960.80	8.82×10^4	2 193	2.33×10^6
Oro	1 063.00	6.44×10^4	2 660	1.58×10^6
Cobre	1 083	1.34×10^5	1 187	5.06×10^6

Fuente: Rodríguez (2021).

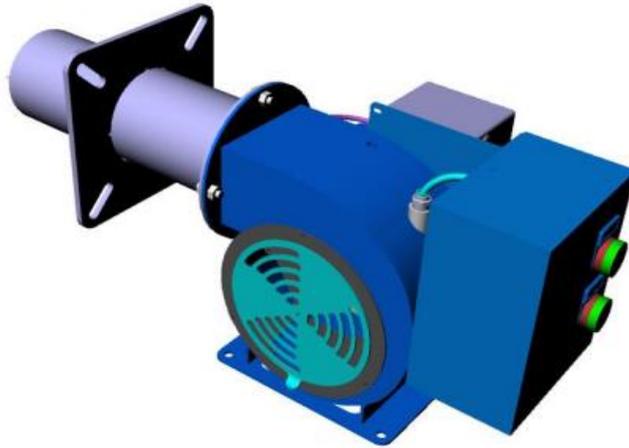
Anexo 11. Poder calorífico de combustibles gaseosos

Combustible	Densidad kg/m ³	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg	Combustible	Densidad kg/m ³	PCI kJ/kg	PCS kJ/kg
Gas natural	(*)	39900	44000	Gas de agua	0'711	14000	16000
Gas de hulla	0'50		46900	Gas ciudad	0'650	26000	28000
Gas de coquería	0'56	31400	35250	Gas de agua carburado	0'776	26400	27200
Gas de aire	----	10000	12000	Propano	506 (l) 1'85 (g)	46350	50450
Hidrógeno	0'0899	120011	141853	Butano	580 (l) 2'4 (g)	45790	49675

Fuente: Weston (2019).

Anexo 12. Ficha técnica del quemador de gas natural

QUEMADOR QH-200

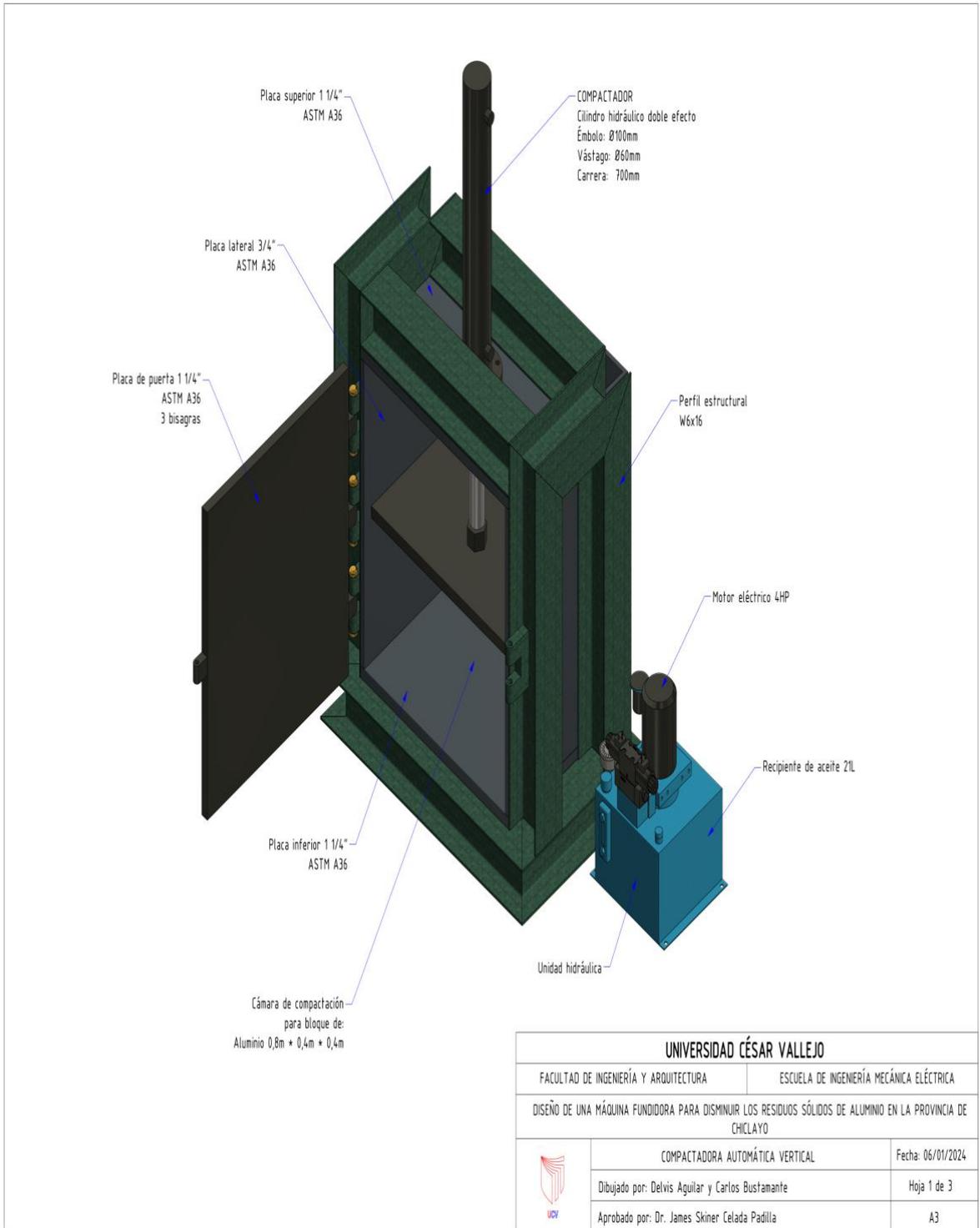


Es un quemador con una potencia térmica equivalente a 200.000 BTU. Este artefacto es controlado electrónicamente para ser fácil de usar y ser instalado. Sus características técnicas lo hacen ideal para ser utilizado por largos periodos de tiempo.

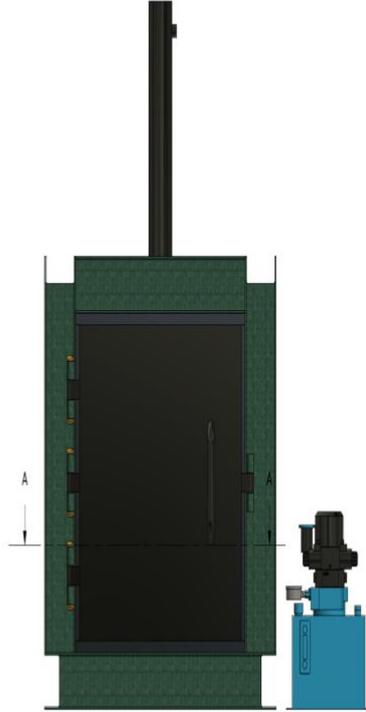
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

MODELO	QH-120
Potencia mínima térmica	50.000 Btu/h 15 Kw/h
Potencia máxima térmica	200.000 Btu/h 59 Kw/h
Entrada de gas	½ NPT 13 mm
Voltaje de las válvulas a gas	110 V
Presión máxima de gas	14"C.A
Presión mínima de gas	6"C.A
Sensor de flama	Electrodo de ionización
Encendido	Transformador de ignición
Ventilador	Centrífugo
Potencia ventilador	1/4 HP
Presóstato de aire	SI
Voltaje de entrada	110 voltios
Diámetro del cañón	90 mm
Tipo de montaje	Flanche

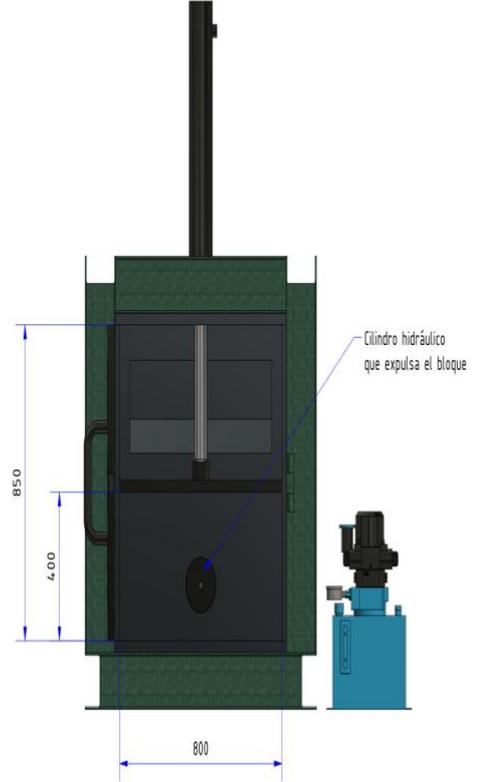
Anexo 13. Conceptos o alternativas de diseño



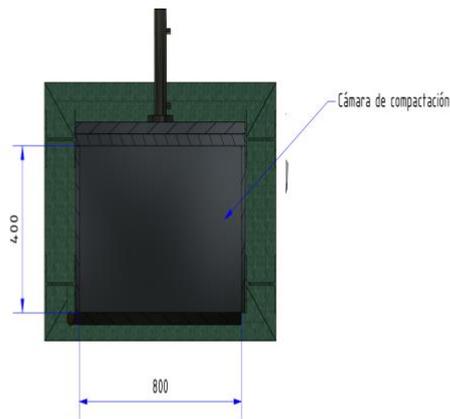
VISTA INICIAL
PUERTA CERRADA



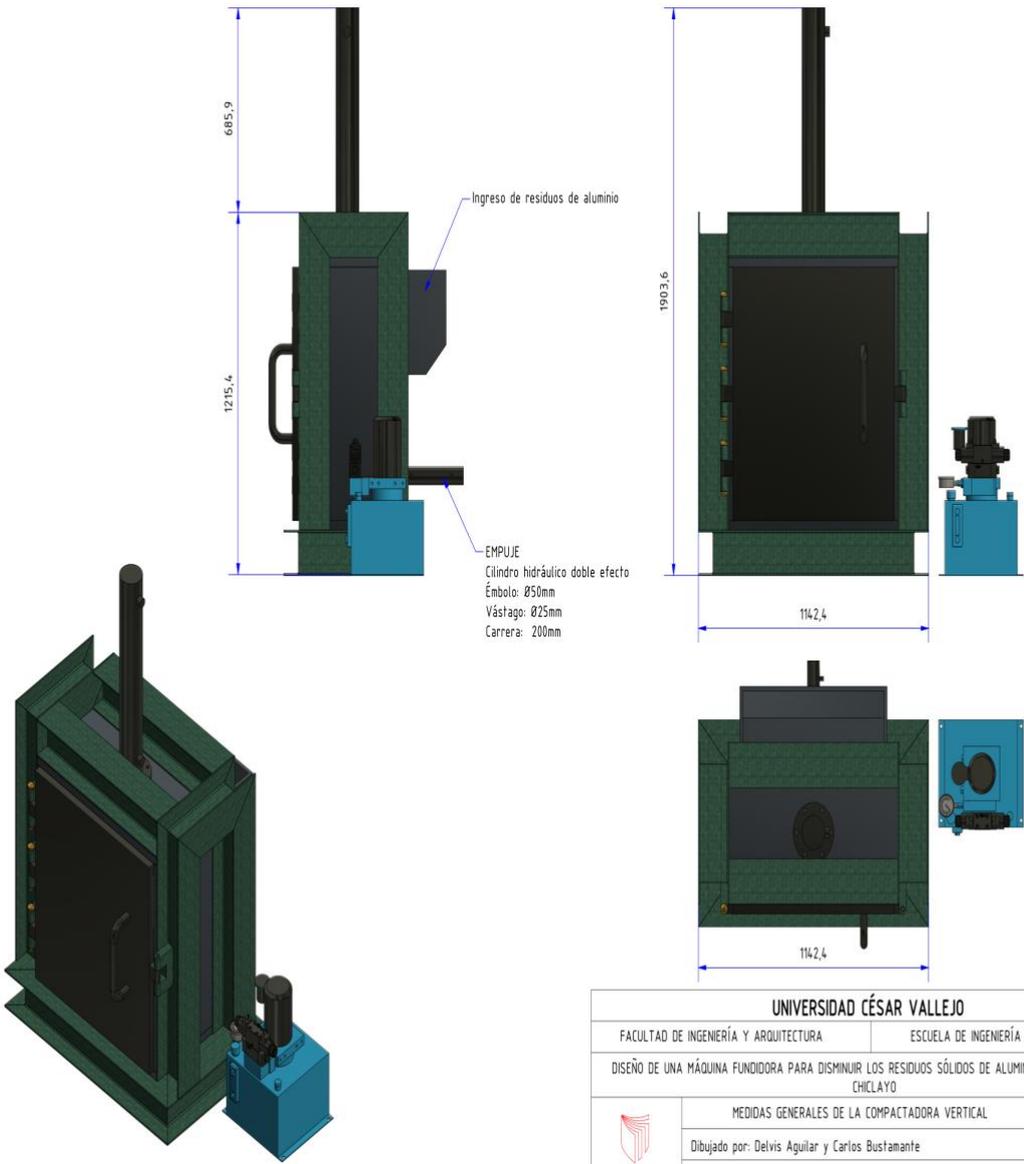
VISTA EN COMPACTACIÓN
PUERTA ABIERTA



A-A (1:15)



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
DISEÑO DE UNA MÁQUINA FUNDIDORA PARA DISMINUIR LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE ALUMINIO EN LA PROVINCIA DE CHICLAYO		
	POSICIONES DE LA COMPACTADORA VERTICAL	Fecha: 06/01/2024
	Dibujado por: Delvis Aguilar y Carlos Bustamante	Hoja 2 de 3
	Aprobado por: Dr. James Skinner Celada Padilla	A3



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA
DISEÑO DE UNA MÁQUINA FUNDIDORA PARA DISMINUIR LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE ALUMINIO EN LA PROVINCIA DE CHICLAYO	
	MEDIDAS GENERALES DE LA COMPACTADORA VERTICAL
Dibujado por: Delvis Aguilar y Carlos Bustamante	Fecha: 06/01/2024
Aprobado por: Dr. James Skinner Celada Padilla	Hoja 3 de 3
	A3



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CELADA PADILLA JAMES SKINNER, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "DISEÑO DE UNA MÁQUINA FUNDIDORA PARA DISMINUIR LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE ALUMINIO EN LA PROVINCIA DE CHICLAYO", cuyos autores son AGUILAR CHAVEZ DELVIS OMAR, BUSTAMANTE TENORIO CARLOS JESUS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 14.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 01 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CELADA PADILLA JAMES SKINNER DNI: 16782335 ORCID: 0000-0002-5901-2669	Firmado electrónicamente por: CPADILLAJ el 11-12- 2023 12:12:09

Código documento Trilce: TRI - 0677191