



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Diseño de un horno pirolítico de residuos sólidos para la obtención de hidrógeno, en la ciudad de Chiclayo.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Cajusol Tumes, Diego David (orcid.org/0000-0002-1291-6011)
Carrion Custodio, Alan Salvador (orcid.org/0000-0003-4986-8372)

ASESOR:

Dr. Dávila Hurtado Fredy (orcid.org/0000-0001-8604-8811)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, Transmisión, Distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

CHICLAYO - PERÚ

2023

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto a nuestros familiares por su apoyo incondicional y el ánimo que nos brindan para seguir adelante y apoyarnos moralmente en cada momento.

A nuestros maestros quienes nunca desistieron en sus enseñanzas, y por su esperanza puesta en nosotros, quienes sin su ayuda nunca habiéramos podido hacer elaborar este proyecto.

*Alan Salvador Carrión Custodio
Diego David Cajusol Tumes*

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos infinitamente a Dios por habernos permitido llegar de manera satisfactoria a esta etapa de nuestra formación profesional, por guiarnos y brindarnos sabiduría, paciencia y fortaleza para salir adelante ante las dificultades.

A nuestras familias por su apoyo incondicional y el ánimo que nos brindan para seguir adelante y apoyarnos moralmente en cada momento.

A los compañeros por su amistad y dedicación a la realización de este trabajo. A nuestro asesor Dr. FREDY DAVILA HURTADO por su paciencia, dedicación y por compartir sus conocimientos, y a nuestros amigos y familiares por darnos palabras de ánimo y apoyo incondicionalmente.

*Alan Salvador Carrión Custodio
Diego David Cajusol Tumes*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | iv |
| ÍNDICE DE TABLAS | vi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| RESUMEN | ix |
| ABSTRACT | x |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| Hipótesis..... | 3 |
| II. MARCO TEÓRICO | 4 |
| III. METODOLOGÍA | 9 |
| 3.1. Tipo y diseño de la investigación..... | 9 |
| 3.2. Variables y operacionalización..... | 9 |
| 3.3. Población, Muestra y Muestreo..... | 9 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad: | 10 |
| 3.5. Procedimiento:..... | 10 |
| 3.6. Método de análisis de datos..... | 10 |
| 3.7. Aspectos éticos | 10 |
| IV. RESULTADOS | 11 |
| 4.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO. | 11 |
| 4.2. Determinar los parámetros de diseño del horno pirolítico, de acuerdo a las condiciones de procesos. | 14 |
| 4.3. SELECCIONAR LOS COMPONENTES ELECTROMECÁNICOS DEL HORNO PIROLÍTICO SEGÚN LOS PARÁMETROS DE DISEÑOS | 22 |
| 4.3.1. Dimensionamiento y selección de quemadores | 23 |
| 4.3.2. Dimensionamiento y selección del material del horno pirolítico | 25 |
| 4.3.3. Dimensionamiento y selección del tornillo sin fin y motor eléctrico..... | 28 |

| | |
|---|----|
| 4.3.4. Dimensionamiento y selección del aislante térmico | 32 |
| 4.3.5. Dimensionamiento y selección del sistema de transmisión..... | 34 |
| 4.4. PRESUPUESTO DEL HORNO PIROLÍTICO Y BENEFICIO COSTO. | 67 |
| V. DISCUSIÓN | 71 |
| VI. CONCLUSIONES | 76 |
| VII. RECOMENDACIONES | 77 |
| REFERENCIAS | 78 |
| ANEXO: | 82 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Técnicas e instrumentos del estudio | 10 |
| Tabla 2. Residuos sólidos en la provincia de Chiclayo (2013-2022) | 11 |
| Tabla 3. Ratio de generación de residuos sólidos por habitante | 12 |
| Tabla 4. Longitud y diámetros óptimos del horno pirolítico | 16 |
| Tabla 5. Resultados del diagnóstico de residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo y parámetros de diseño | 21 |
| Tabla 6. Propiedades mecánicas del material Q235 | 26 |
| Tabla 7: Secciones de fajas en V | 36 |
| Tabla 8: Reductor de velocidad coaxial con engranajes helicoidales | 37 |
| Tabla 9: Dimensiones de conversión de longitud | 40 |
| Tabla 10: Longitudes interiores de fajas en V | 41 |
| Tabla 11: Factor de corrección por ángulo de contacto K1 | 42 |
| Tabla 12: Factor de corrección por longitud de la faja K2 | 43 |
| Tabla 13: Factor de servicio Ks | 44 |
| Tabla 14: Factores de seguridad de diseño de materiales | 45 |
| Tabla 15: Potencia tabulada de la banda en V | 47 |
| Tabla 16: Porcentaje de carga para la fuerza axial | 52 |
| Tabla 17: Características del AISI 1050 | 57 |
| Tabla 18: Vida nominal para rodamientos SKF | 59 |
| Tabla 19: Parámetros de rodamientos SKF 61932 | 60 |
| Tabla 20: Parámetros de rodamientos SKF 6032 | 63 |
| Tabla 21: Resultados principales de los componentes del horno pirolítico | 64 |
| Tabla 22: Inversión en el diseño del horno pirolítico | 66 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Proceso de térmico por pirólisis de biomasa | 8 |
| Figura 2: Ratio de residuos sólidos de la provincia de Chiclayo | 13 |
| Figura 3: Cantidad de residuos sólidos en la provincia de Chiclayo | 13 |
| Figura 4. Temperatura y velocidad de calentamiento | 17 |
| Figura 5. Temperatura en función del % de carbón vegetal producido | 18 |
| Figura 6. % de hidrógeno en función de la temperatura y velocidad | 20 |
| Figura 7. Planta de pirólisis de residuos sólidos | 22 |
| Figura 8. Dimensiones del quemador de gas para el horno pirolítico | 25 |
| Figura 9. Cuerpo del horno pirolítico de acero Q235 | 27 |
| Figura 10. Sistema de transporte de los residuos sólidos | 29 |
| Figura 11. Parámetros técnicos del motorreductor del tornillo sin fin | 31 |
| Figura 12. Dimensiones del tornillo son fin | 32 |
| Figura 13. Ubicación del aislante térmico de algodón cerámico | 32 |
| Figura 14. Sistema de transmisión del horno pirolítico | 34 |
| Figura 15: sistema de reducción de la velocidad | 38 |
| Figura 16: Sistema de transmisión por fajas en V | 38 |
| Figura 17: componentes de la fuerza tangencial | 49 |
| Figura 18: Diagrama de cuerpo libre del eje | 50 |
| Figura 19: Diagrama de Fuerza cortante $V_y - X$ | 52 |
| Figura 20: Diagrama de Fuerza cortante $V_z - X$ | 53 |
| Figura 21: Diagrama de Momento flexionante $M_z - X$ | 53 |
| Figura 22: Diagrama de Momento flexionante $M_y - X$ | 54 |
| Figura 23: Diagrama de Momento torsor $T - X$ | 55 |

RESUMEN

El hidrógeno desde que el ser humano tiene conocimiento de su existencia poco a poco se va convirtiendo en uno de los combustibles con un gran potencial en términos de capacidad energética. Su producción actual proviene mayoritariamente de recursos fósiles (no renovables), pero las alternativas sostenibles no dejan de crecer, destacando la fermentación oscura, la biofotólisis, la electrólisis, la foto fermentación y la pirólisis.

Considerándose esta última una de las más conocida, pero de tratamiento térmico poco común, para otros es considerado como una tecnología moderna con una clasificación única en los sistemas pirolíticos y en el análisis del hidrógeno como un combustible a futuro. La pirólisis es un proceso termoquímico con un aporte de calor excesivamente alto, el cual la ausencia del oxígeno permite que se dé la ruptura térmica de las moléculas generando hidrógeno y otros elementos de acuerdo a la necesidad. Utilizando como materia prima residuos urbanos sólidos o residuos orgánicos.

En este presente proyecto, se describirá el diseño de un horno pirolítico para la producción de hidrógeno por medio de los residuos sólidos en la ciudad de Chiclayo aplicando la tecnología de la pirólisis, teniendo en cuenta que, actualmente en la ciudad de Chiclayo se recoge más de 400 toneladas de basura diaria, dirigido al botadero de las pampas de Reque, sin considerar reglas ni procedimientos de manipulación de residuos. Y una alternativa de solución frente a esta cantidad de residuos sólidos, es convertirlos en una materia prima para la obtención de una fuente de energía como es el hidrógeno. Se finaliza que, en nuestro proyecto se hará mención de la clasificación de los residuos sólidos urbanos, mencionando los niveles de hidrógeno que estos presentan.

Palabras clave: hidrógeno, residuos sólidos, pirólisis, electrólisis.

ABSTRACT

Since human beings are aware of its existence, hydrogen has gradually become one of the fuels with great potential in terms of energy capacity. Its current production comes mostly from fossil (non-renewable) resources, but sustainable alternatives do not stop growing, highlighting dark fermentation, bio photolysis, electrolysis, photo fermentation and pyrolysis.

Considering the latter one of the best known, but with an uncommon heat treatment, for others it is considered a modern technology with a unique classification in pyrolytic systems and in the analysis of hydrogen as a future fuel. Pyrolysis is a thermochemical process with an excessively high heat input, in which the absence of oxygen allows the thermal breakdown of the molecules, generating hydrogen and other elements according to need. Using solid urban waste or organic waste as raw material.

In this present project, the design of a pyrolytic oven for the production of hydrogen by means of solid waste in the city of Chiclayo will be described, applying the pyrolysis technology, taking into account that, currently in the city of Chiclayo, more of 400 tons of garbage daily, directed to the dump in the Pampas de Reque, without considering rules or procedures for waste handling. And an alternative solution to this amount of solid waste is to convert it into a raw material to obtain an energy source such as hydrogen. It is concluded that, in our project, mention will be made of the classification of urban solid waste, mentioning the levels of hydrogen that these present.

Keywords: hydrogen, solid waste, pyrolysis, electrolysis

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el modelo actual de la energía ya no es sustentable debido al uso indiscriminado de combustibles fósiles que unidos al aumento de la generación de residuos sólidos urbanos han generado el calentamiento global y la reducción de gases de efecto invernadero, y estos factores como consecuencia trajeron perjuicios a los seres vivos que habitan este planeta incluyendo a los seres humanos debido a los cambios climáticos tan abruptos, por dicho motivo la convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático llevada en Glasgow (Escocia) promueve el abandono de los combustibles fósiles como es el carbón y la eliminación de manera gradual de las fuentes de energías derivadas de los residuos fósiles, invitando a la búsqueda de nuevas fuentes de energía no convencionales que permitan paliar o reducir la contaminación ambiental.

En el Perú de manera tradicional siempre ha sido un país cuya fuente de energía ha sido de manera hidroeléctrica representando esta un total del 85% de toda su energía eléctrica, luego se desarrolló la producción del gas natural de Camisea convirtiéndose en la fuente de energía de las nuevas plantas de generación eléctrica, pero en el año 2008 se promovió la generación de nuevas fuentes de energía no convencionales representando menos del 0.01% de toda la energía producida en el país, a pesar de ello gracias a la adjudicación de nuevos proyectos eléctricos en el año 2020 este porcentaje aumentó hasta un 5.9% de toda la energía producida en el país. “La diversificación de la matriz energética, mediante la introducción de tecnologías RER, aumenta la confiabilidad del sistema eléctrico y reduce la dependencia de combustibles fósiles” (H2LAC, 2022). Una de las causas de la contaminación global es el aumento de la generación de residuos sólidos urbanos, donde la ONU en su programa para el medio ambiente menciona que “la generación de residuos sólidos urbanos en los países de América Latina y el Caribe alcanzó un volumen de casi 540.000 toneladas diarias y la expectativa es que, para 2050, la basura producida en la región llegue a las 671.000 toneladas” (ONU, 2017). En el Perú según los datos obtenidos por el Minam en el año 2019, a nivel nacional, se generaron 7 781 904,29 de toneladas de residuos sólidos municipales. De ese total, 1 750 458,41 fueron inorgánicos (22.49 %) y 4 252 200,47 fueron de tipo orgánico (54.64 %). El 77.13 % de lo generado puede ser valorizable (GOB.PE,

2021). En la ciudad de Chiclayo se produce aproximadamente 400 toneladas de residuos sólidos al día; y de esta cantidad el sistema de limpieza sólo recolecta 180, las que son transportadas hasta las pampas de Reque, por las mismas compactadoras que recorren las calles y dejadas allí al aire libre por lo que los desechos siguen contaminando. Las otras 220 toneladas de basura están distribuidas en las calles y avenidas. (RPP, 2019).

Y frente esta realidad que se encontró nos formulamos el siguiente problema ¿Cómo obtenemos una nueva fuente de energía no convencional (Hidrógeno), mediante un horno pirolítico que procese los residuos sólidos urbanos?

En este presente estudio se justifica el diseño un horno pirolítico usando como materia prima los residuos sólidos urbanos (RSU) de la Ciudad de Chiclayo por medio de la tecnología de pirólisis para la producción de hidrógeno y así ayudar a reducir el impacto de la contaminación ambiental debido al incorrecto manejo de los residuos sólidos, obteniendo una nueva fuente de energía no convencional que es el Hidrógeno que al presentar un gran potencial en términos de capacidad energética, podrá ser visto como un elemento importante en el área de transporte, minería y a nivel industrial.

Teniendo como objetivo general el diseñar un horno pirolítico para la obtención de hidrógeno, a partir de la reutilización de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Chiclayo.

Y como consecuencia de este estudio determinamos los siguientes objetivos específicos: Diagnosticar la situación actual de la generación de residuos sólidos en la ciudad de Chiclayo, Determinar los parámetros de diseño del horno pirolítico, de acuerdo a las condiciones de procesos, Seleccionar los componentes electromecánicos del horno pirolítico según los parámetros de diseños, elaborando los planos y láminas de detalle, Elaborar el presupuesto del diseño mencionando la relación costo beneficio.

Hipótesis.

La ciudad de Chiclayo produce toneladas de residuos sólidos al día; y de esta cantidad algunas son transportadas hasta las pampas de Reque, por las mismas compactadoras que recorren las calles y son dejadas allí al aire libre por lo que los desechos siguen contaminando.

Y frente esta realidad que existe se formula la siguiente hipótesis, el de construir una planta pirolítica en la ciudad este aprovecharía los residuos sólidos como materia prima, pudiendo lograr una gestión más sostenible para estos residuos. Debido a que la pirolisis puede convertir la distinta variedad de desechos en productos valiosos, como biocombustibles y materiales reutilizables, disminuyendo así la cantidad de residuos sólidos que terminan en vertederos, las calles, etc. Generando contaminación proporcionando una nueva alternativa de energía. Sin embargo, sería esencial realizar estudios exhaustivos de factibilidad y considerar los posibles impactos ambientales y económicos antes de implementar la planta.

II. MARCO TEÓRICO

La presente investigación presenta los siguientes **antecedentes**, los cuales son producto de una síntesis de una revisión sistemática de artículos científicos que tienen relación con el tema.

El investigador Xun (2019), estudió la pirólisis de residuos sólidos hasta la etapa de comercialización. La investigación fue aplicada experimental. Las técnicas empleadas fueron el análisis documental y observación directa de campo. El autor explicó que la pirólisis es un proceso térmico sin la presencia de oxígeno, permitiendo de esta manera se originen biocombustibles como: biogás, bioaceite y biocarbón, contribuyendo de esta manera al medio ambiente. El autor especificó que los residuos sólidos se pueden llegar a obtener entre el 25 a 40% de biogás, de donde el 55 a 65% es metano. Concluyendo que el precio actualmente del biogás tiene una gran demanda en el mercado con precios comprendidos entre 3 a 5 \$/Kg.

El autor Velmurugan (2022) en su investigación sobre el desarrollo de la pirólisis, explica que la pirólisis es un proceso prometedor para convertir la biomasa en bioaceite, biogás y carbón vegetal. La investigación fue preexperimental. El instrumento utilizado fue fichas de registro. Donde un eficiente proceso de la pirólisis emite bajas concentraciones de nitrógeno y azufre. Lo cual contribuye al medio atmosférico. Concluyendo que para obtener bioaceite y biogás, para una producción máxima (75,74% en peso) la temperatura, la velocidad de calentamiento y los tamaños de partículas deben ser: 575 °C y 20 °C/min, respectivamente.

El autor Mlonka (2021) en su investigación sobre la pirólisis en biomásas para la producción de combustibles gaseosos. La investigación fue aplicada preexperimental. El modelado químico del gas pirolítico se realizó utilizando el software Ansys Chemkin-Pro y se comparó con los resultados experimentales. Los resultados computacionales mostraron una buena correlación con la composición del gas pirolítico medido, especialmente en el caso de los principales componentes del gas. Concluyendo que el estudio de pirólisis se llevó a cabo bajo atmósfera de temperaturas de 300, 400, 500 y 600 °C en la microescala usando análisis térmico simultáneo y un reactor vertical semicontinuo a escala de laboratorio. Se caracterizó

en detalle los productos sólidos, líquidos y gaseosos, incluyendo la composición elemental y química

El investigador Gosgot (2021), realizó una valorización energética de residuos orgánicos mediante la pirólisis. La investigación fue aplicada con diseño experimental. Los instrumentos empleados fueron fichas de registro y fichas de observación. El autor especificó que en la actualidad el aprovechamiento de energía de la biomasa es una alternativa para el impulso de matriz energética renovable. Donde una de las variables a tener en consideración en el diseño de un horno pirolítico es la producción de residuos sólidos, ya que estos incrementan en el tiempo, perjudicando el diseño del reactor, si no se tiene en cuenta este valor. Para el caso de estudio la población aumenta aún ritmo de 0.52% por año, originando que el ratio de sólidos por habitantes sea 0.482 Kg/día/hab. Concluyendo que, una de las principales fuentes de biomasa son los residuos orgánicos generados por las actividades productivas y cotidianas, en definitiva, la pirólisis es un tratamiento térmico que contribuye con la reducción de los gases de efecto invernadero y del calentamiento global que son causantes del cambio climático.

El autor Dimitri (2021) realizó una revisión del estado actual del mecanismo de pirólisis de la biomasa. La investigación fue aplicada descriptiva transversal. La técnica empleada fue la entrevista y encuesta. El autor especifica que la biomasa es la fuente de energía renovable más extendida y disponible. El combustible derivado de la biomasa tiene un gran potencial. La mayoría de los países pueden involucrar esta materia prima en el sector energético mediante el uso de diferentes productos y desechos del procesamiento de la madera y la agricultura, como aserrín, astillas de madera, combustibles forestales, paja, cáscara, tallos y hojas, desechos de palmiste, tortas prensadas y otros. Concluyendo que la descomposición mediante la pirólisis se implementa en plantas industriales a temperaturas superiores a los 550 °C, generando como resultado productos gaseosos y un residuo sólido. La pirólisis se origina bajo un deficiente oxidante (oxígeno) cuando se calienta la biomasa, las proporciones de gas y líquido que se producen dependen del modo de pirólisis y del tipo de sistema utilizado.

El autor Fricler (2023) en su estudio sobre la pirólisis y su influencia en el tamaño de partículas. La investigación fue aplicada descriptiva. Se empleó como instrumento una ficha de registro y un cuestionario. El autor especificó que la pirólisis de mezclas contribuye a la utilización de una gran cantidad de residuos de plantas manteniendo la calidad de los productos finales. Se debe tener en cuenta que el proceso de la pirólisis es 40% más rentable que los procesos de desgasificación de biomasa. Concluyendo que las concentraciones volumétricas de CO, CH₄ y H₂ para estos tipos de biomasa fueron entre un 20 % y un 70 % más altas en un proceso térmico por pirólisis rápida o flash.

El autor Bieniek (2022) en su estudio pirólisis flash para residuos sólidos en la industrial. La investigación fue aplicada con diseño experimental. Los instrumentos empleados fueron una ficha de registro y una ficha de observación de campo. El autor especificó que una pirólisis lenta las velocidades de calentamiento están entre el rango de 5 a 20°C/min, mientras que en una pirólisis rápida las velocidades de calentamiento se encuentran en el rango de 20 a 40 °C/min. Concluyendo que a mayor velocidad de calentamiento se produce mayor concentración de gas y biochar (carbón vegetal), pero a velocidades menores se obtienen menores concentraciones de aceite. Para ambas pirólisis se recomienda temperaturas entre el rango de 400 a 600°C para una descomposición térmica de la materia eficiente.

El investigador Batta (2023), en su investigación sobre la producción de biogás mediante residuos sólidos. La investigación fue de tipo aplicada con diseño preexperimental. Las técnicas empleadas fueron la encuesta y entrevista. El autor realizó un análisis de la capacidad de sólidos residuales disponibles, teniendo en cuenta que estos aumentan, al ritmo de crecimiento de la población, proyectando una producción de 1820 Kg/h a 2580 Kg/h en un tiempo de 5 años, el diámetro del horno debe ser 3 m, con una longitud de 6 m, no pudiendo ser superior para evitar problemas de dilatación, seleccionando un material AISI 1045 laminado en frío. Asimismo, se produjo 1800 Kg/h de biogás. El proyecto tuvo un beneficio costo de 21. Concluyendo que una pirólisis flash permite tener un biogás de mayor calidad para el consumo industrial, elevando los costos por cada kilogramo producido.

En el estudio de Rosha (2022), realizó un análisis de sensibilidad para la pirólisis

de biomasa. La investigación fue aplicada descriptiva – experimental. Los instrumentos empleados fueron fichas de registro y observación. El autor explicó que la temperatura ideal para un proceso por pirolisis es 600°C, pero esta debe aumentar progresivamente con velocidades entre 10 a 50 °C, teniendo en consideración lo que se desea obtener, si el caso es obtener biogás en grandes flujos volumétricos entonces la velocidad de calentamiento debe ser rápida, pero en cambio si se desea obtener aceite, el proceso de calentamiento debe ser lento. Asimismo, el autor describe que obtener biogás involucra mayores gastos operativos respecto a la inversión de equipamiento y materiales especiales, pero se logra una mayor rentabilidad económica en el tiempo. Concluyendo que un proceso de pirolisis para generar biogás es más rentable que producir bioaceite o biochar.

El investigador Seonho (2022) estudio el empleo del biogás como medio de pirolisis. La metodología de investigación fue pre experimental. Las técnicas empleadas fueron la encuesta, entrevista, observación y análisis documental. La muestra estuvo constituida por sólidos residuales. El autor diseño 3 hornos pirolíticos para una capacidad unitaria de 1800 Kg/h de residuos, para lo cual seleccionó como material del reactor AISI 304. Obteniendo 1120 Kg/h de gases. El tornillo sin fin tuvo un diámetro de 40 mm, con una longitud de 3.20 m, con un motor reductor de 22 rpm y una potencia de 0.5 HP. El reactor pirolítico tuvo una longitud de 3.40 m y un diámetro de 1.65 m. El sistema de combustión estuvo constituido por 3 quemadores de gas con una potencia de 570 W. Concluyendo que la implementación de un reactor para obtener biogás es rentable económicamente.

El autor Mejía (2022) analizó la obtención de biocombustible mediante la pirolisis. El estudio fue aplicado con diseño experimental. Los instrumentos empleados fueron fichas de registro y observación. El autor especificó que la velocidad de calentamiento está en función de la cantidad del biocombustible que se desea obtener. Pero que uno de los aspectos a tener en cuenta es tener un buen aislamiento del sistema para que este no perjudique la velocidad de calentamiento. Concluyendo que el aislante que tiene las mejores características en para hornos pirolíticos es el algodón cerámico y este debe estar en el rango de 1 a 3 pulgadas de espesor para una buena eficiencia.

Según Rosha (2022), explica que la pirólisis es aquel proceso, basado en la degradación térmica de la materia orgánica, sin la presencia o participación de oxígeno, con la finalidad de producir biocombustibles (aceite, carbón vegetal o biochar y biogás). Donde las temperaturas de calentamiento de la materia oscilan entre 300 a 800 °C. Asimismo, la pirólisis se clasifica en lenta y rápida (flash), y eso va a depender de la velocidad de calentamiento, las cuales se encuentran en el rango de 10 a 50 °C/min. La pirólisis lenta genera mayor producción de aceite y biochar, mientras que la pirólisis flash produce mayor participación volumétrica de biogás.

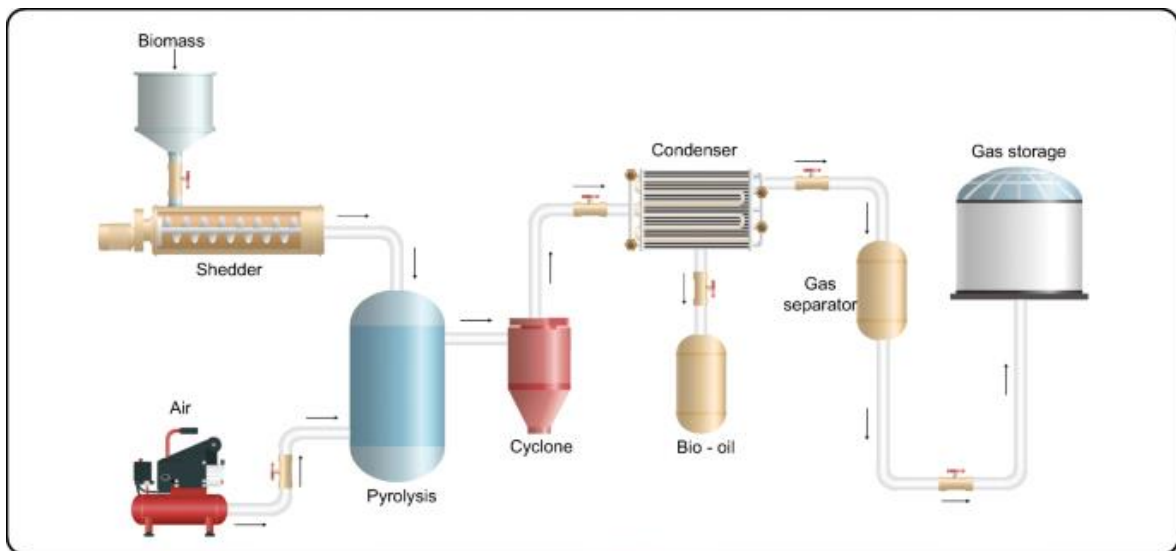


Figura 1: Proceso de térmico por pirólisis de biomasa

Fuente: Extraído del artículo científico del investigador Rosha (2022)

III. METODOLOGÍA

Este proyecto presenta un enfoque cuantitativo tiene como finalidad dar a conocer los aspectos metodológicos de la investigación sobre sus estrategias, sus procedimientos y dar respuesta al problema.

3.1. Tipo y diseño de la investigación.

Tipo de la investigación

El tipo de investigación de esta presentación es de forma aplicada y tecnológica porque permitió el diseño de un equipo electromecánico

Diseño de la investigación

El diseño de nuestra investigación, es el estudio de un caso relacionado a la obtención de una nueva fuente de energía no convencional usando como materia prima los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo.

Se da por concluido que, nuestra investigación es una investigación experimental y transversal porque, nos conlleva al diseño de horno pirolítico para obtención de una fuente de energía no convencional.

3.2. Variables y operacionalización.

La operacionalización de las variables tiene como objetivo desintegrar los elementos de la estructura de la hipótesis, las variables, logrando dividir las variables en dimensiones y a la vez la observación directa y de medición convertirlo en indicadores. Es por este motivo, que la operacionalización de las variables es fundamental porque se obtienen aspectos para cuantificar, conocer y registrar con el fin de llegar a conclusiones.

a) Variable independiente: Diseño de un horno pirolítico de residuos sólidos.

b) Variable dependiente: Obtención de Hidrógeno

3.3. Población, Muestra y Muestreo

Dentro del proceso de nuestra investigación, hemos escogido de manera global nuestra población identificando el problema y la posible alternativa de solución y luego como muestra hemos optado por una parte representativa de la población y con los criterios de un muestreo no probabilístico.

Población: Los residuos sólidos de la región Lambayeque

Muestra: Los residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo

Muestreo: No probabilístico

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad:

Tabla 1: Técnicas e instrumentos del estudio

| Técnica | Instrumento de recolección de datos |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Análisis documentario | Fichas de registro |
| Observación directa | Fichas de observación de campo |

Fuente: Elaborado por los autores

3.5. Procedimiento:

El análisis documental, mediante fichas de registro, nos permitió obtener información de hornos pirolíticos puestos en marcha, y de un análisis de artículos científicos. La observación nos permitió registrar el estado de los residuos sólidos en la provincia de Chiclayo.

3.6. Método de análisis de datos

Los datos recolectados por los instrumentos, fueron ordenados en tablas de frecuencias y gráficos de barras y circulares mediante hojas de cálculo de Excel, para una mejor interpretación de los resultados por cada objetivo específico.

3.7. Aspectos éticos

Los autores nos comprometemos a respetar la propiedad intelectual, de otros investigadores, no incurriendo el plagio académico.

IV. RESULTADOS

4.1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO.

Es importante analizar la situación de residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo, para determinar su proyección en el tiempo y de esta manera poder diseñar un horno pirolítico que cumpla eficiente en el proceso del tratamiento termoquímico del flujo másico de residuos sólidos.

Para lo cual fue necesario la recolección de datos, respecto a la generación de residuos sólidos de la provincia de Chiclayo, durante los últimos 10 años (2013-2022), debido a que la población está creciendo a un ritmo de 1.4% por cada año (INEI, 2022), lo cual es proporcional a la cantidad de residuos sólidos.

En la tabla 2, se observa que mientras aumenta la población, incrementan progresivamente la cantidad de residuos sólidos por cada día en la provincia de Chiclayo. Y este es un parámetro que se debe tener en consideración para el diseño del horno pirolítico. Donde el horno pirolítico debe ser diseñado según la capacidad de residuos sólidos producidos cada año y teniendo en cuenta que la cantidad es variable por cada periodo de tiempo.

Tabla 2. Residuos sólidos en la provincia de Chiclayo (2013-2022)

| Año | Población | Cantidad de residuos sólidos (Kg/día) |
|------------|------------------|--|
| 2013 | 537726 | 398 992.53 |
| 2014 | 545254 | 417 119.26 |
| 2015 | 552887 | 435 896.50 |
| 2016 | 560628 | 454 613.18 |
| 2017 | 568477 | 473 541.10 |
| 2018 | 576435 | 492 512.15 |
| 2019 | 584505 | 511 676.09 |
| 2020 | 592689 | 531 108.21 |
| 2021 | 600986 | 547 558.52 |
| 2022 | 609400 | 582 281.70 |

Fuente: Elaborado por los autores

Nota: Reportes extraídos de Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos de Chiclayo, INEI (2022), SINIA (2021)

En la tabla 3, se muestra el ratio promedio de la cantidad en kilogramos de residuos sólidos generados por cada habitante de la provincia de Chiclayo. Para calcular el ratio de generación de residuos sólidos por cada año, se realizó de la siguiente manera: Por ejemplo, para el año 2013, la población era 537 726 habitantes y la cantidad de residuos sólidos por día generados fue 398 992.53. Por lo tanto, el ratio sería: 0.742 Kg/día/hab.

$$\text{ratio} = \frac{\text{Cantidad de residuos sólidos en un periodo}}{\text{Población en un periodo}} = \frac{398\,992.53 \text{ Kg/día}}{537\,726 \text{ habitantes}}$$

$$\text{ratio} = 0.742 \text{ Kg/día/hab.}$$

Tabla 3. Ratio de generación de residuos sólidos por habitante de la provincia de Chiclayo

| Año | Cantidad de residuos por habitante (Kg/día/hab.) |
|------------|---|
| 2013 | 0.742 |
| 2014 | 0.765 |
| 2015 | 0.7884 |
| 2016 | 0.8109 |
| 2017 | 0.833 |
| 2018 | 0.85441 |
| 2019 | 0.8754 |
| 2020 | 0.8961 |
| 2021 | 0.9111 |
| 2022 | 0.9555 |

Fuente: Elaborado por los autores.

En la figura 2, se observa que el ratio de generación de residuos sólidos por cada año por habitante, aumenta significativamente por cada año.

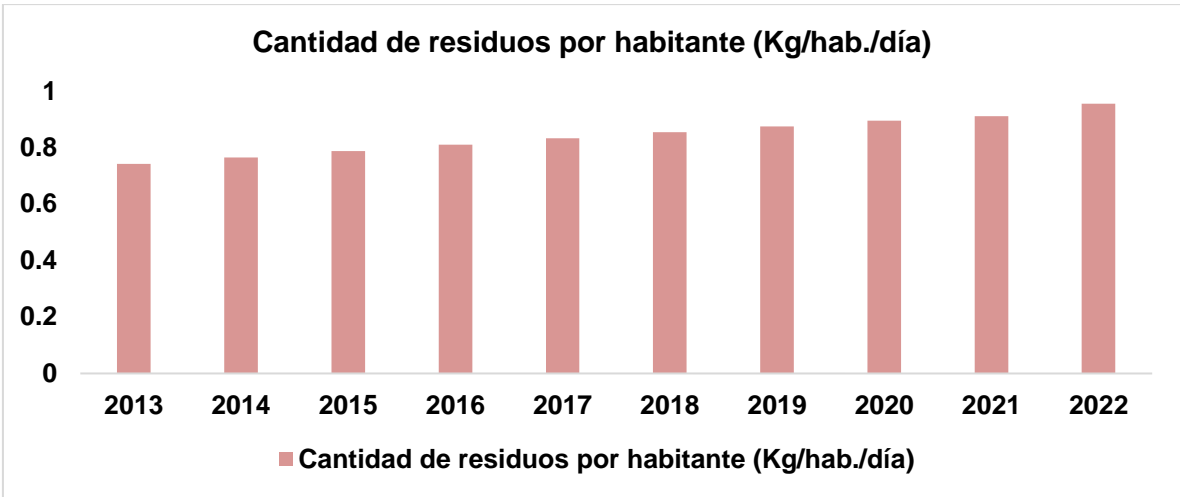


Figura 2: Ratio de residuos sólidos de la población de la provincia de Chiclayo

En la figura 3, se muestra una gráfica estadística de dispersión de puntos, permitiendo encontrar una ecuación matemática que cuantifique el comportamiento de la cantidad de residuos sólidos en el tiempo para la provincia de Chiclayo.

Asimismo, en la figura 3, el eje “x” (horizontal), pertenece a los años y el eje “y” (vertical), pertenece a la cantidad de residuos sólidos por día. Donde la ecuación que rige el comportamiento de la cantidad de residuos sólidos en el tiempo, es una función logarítmica, la cual tiene un grado de confiabilidad de 99.72%.

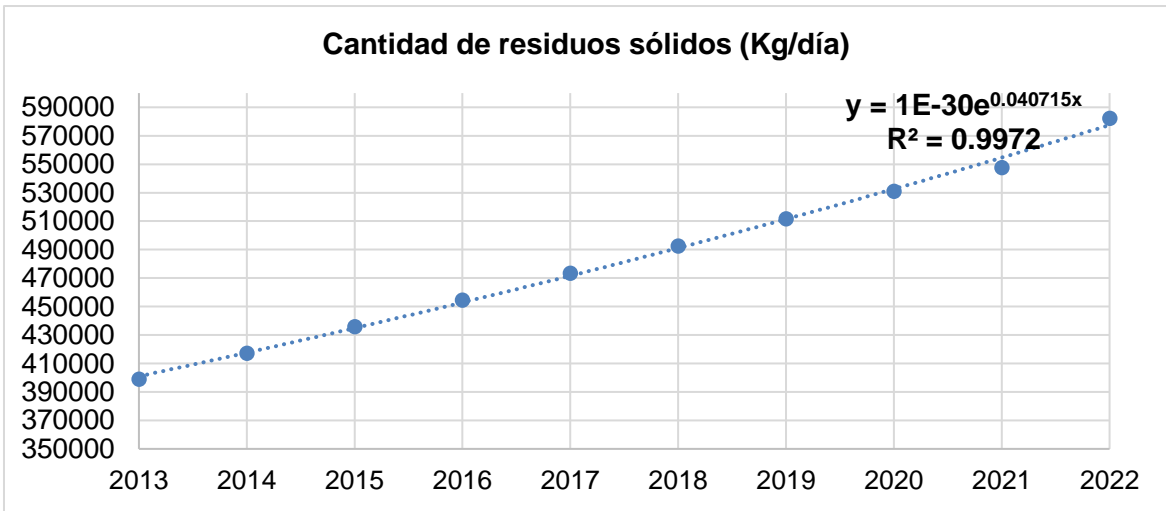


Figura 3: Cantidad de residuos sólidos por periodo de tiempo en provincia de Chiclayo.

Para un diseño eficiente del horno pirolítico, proyectaremos en 10 años la

generación de residuos sólidos, permitiendo tener un diseño que pueda cumplir con la demanda de residuos sólidos en el tiempo.

La ecuación que rige el comportamiento es:

$$Y = 10^{-30} * e^{0.040715X}$$

Dónde: “X” es el año proyectado, es decir 2032 (2022 + 10) y “Y” es la cantidad de residuos sólidos en el año proyectado. Reemplazando:

$$Y = 10^{-30} * e^{0.040715*(2032)} = 851987.56 \text{ Kg/día}$$

Por lo consiguiente el horno pirolítico, será diseñado para una carga nominal máxima de 851987.56 Kg/día.

4.2. Determinar los parámetros de diseño del horno pirolítico, de acuerdo a las condiciones de procesos.

a) Volumen de residuos sólidos

El primer paso, para el diseño del horno pirolítico es determinar su volumen máximo.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Dónde: ρ es la densidad de los residuos sólidos, donde estudios realizados indican que su valor promedio es 571 Kg/m³ (Salas, 2020). Y m es la masa de residuos por día generados en la provincia de Chiclayo, con un valor de 851987.56 Kg/día.

Tendríamos:

$$V = \frac{851987.56 \text{ Kg}}{571 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V = 1492 \text{ m}^3$$

b) Diámetro y longitud del horno pirolítico

A continuación, se cuantificará el diámetro y longitud, para el horno pirolítico. Para lo cual se realizó una tabla de iteraciones, para determinar el diámetro y longitud óptimos. Teniendo en consideración que diseñadores de hornos pirolíticos han determinado que el diámetro es 44% la longitud del reactor, con fines de un diseño ergonómico y eficiente (Hernández, 2017).

$$D = 0.44 * L$$

Donde el volumen en función de la longitud del horno pirolítico se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$V = 2.938 * L^3$$

En la tabla 4, se muestran los resultados del proceso de iteración, para determinar el diámetro y longitud adecuadas para el horno pirolítico, donde la longitud del horno sería 5 metros con un diámetro de 2.2 metros, para lo cual, se necesitarían 20 hornos de esas dimensiones para cumplir con toda la demanda de la provincia de Chiclayo. Se consideró dicha longitud para el horno pirolítico, porque la norma UNE-EN 10207:2018, establece que cuando las longitudes son mayores a 5.8 metros, el acero tiene un comportamiento significativo respecto a la dilatación térmica, y en este estudio la temperatura máxima en el horno será de 600°C, existiendo problemas de dilatación si se consideran longitudes superiores a 5 metros.

Tabla 4. Longitud y diámetros óptimos del horno pirolítico

| | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|---|--|
| Volumen total | 1492 | m³ | |
| Volumen (fórmula) | 2.938*L³ | m³ | |
| Relación | 0.44 = D/L | m/m | |
| Longitud (m) | Diámetro (m) D = 0.44 * L | Volumen (m³) Vu = 2.938 * L ³ | N° de Hornos $\frac{V_t}{V_u}$ |
| 2 | 0.88 | 11.752 | 127 |
| 3 | 1.32 | 26.442 | 56 |
| 4 | 1.76 | 47.008 | 32 |
| 5 | 2.2 | 73.45 | 20 |
| 6 | 2.64 | 105.768 | 14 |
| 7 | 3.08 | 143.962 | 10 |

Fuente: Elaborado por los autores

Nota: Análisis realizado en una hoja de cálculo de Excel.

c) Flujo másico de residuos sólidos (\dot{m}_{rs})

El flujo másico de residuos sólidos máximo que podrán tratar térmicamente por cada horno pirolítico, sería:

$$\dot{m}_{rs} = \frac{m_{m\acute{a}x}}{N^{\circ} \text{ hornos}} = \frac{851987.56 \text{ Kg}/24 \text{ horas}}{20} = 1775 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 0.493 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Por lo consiguiente el horno pirolítico, tendrá una capacidad de procesamiento de residuos sólidos de 0.493 Kg/s.

d) Velocidad y temperatura de calentamiento

En términos generales, la finalidad de la presente investigación es producir hidrógeno, y este debe realizarse de manera rápida, aplicando el proceso de pirólisis flash.

En la figura 4, observa que, a mayor velocidad de calentamiento, se obtiene mayor producción de gas, del cual queremos extraer el hidrógeno. Por lo consiguiente, el

proceso de pirólisis debe ser rápido, seleccionando una temperatura de 600°C, con una velocidad de 30°C/min. No se considera una temperatura mayor a la indicada, para evitar problemas de dilatación térmica y elevando los costos de fabricación de los materiales del horno pirolítico.

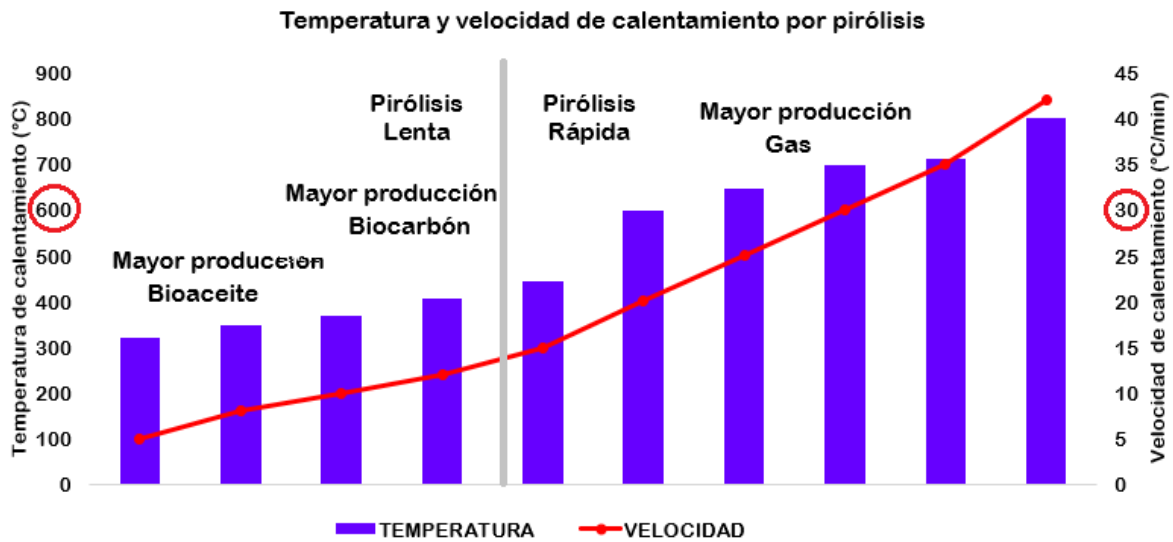


Figura 4. Temperatura y velocidad de calentamiento.

Fuente: Elaborado por los autores

Nota: Valores extraído de los artículos científicos de los investigadores Hewei, (2022) y (Mlonka, 2021).

e) Flujo másico de carbón

En la figura 5, se especifica que la temperatura de calentamiento está en función del porcentaje de carbón vegetal generado, donde para una temperatura de 600°C, el porcentaje de carbón producido sería el 23% del flujo de residuos sólidos que ingresaran al horno pirolítico. Por lo consiguiente, el flujo másico de carbón vegetal sería:

$$\dot{m}_c = \dot{m}_{rs} * \%C$$

Donde: \dot{m}_c es el flujo másico de carbón vegetal, \dot{m}_{rs} es el flujo de residuos sólidos y %C porcentaje de carbón vegetal (figura 5)

$$\dot{m}_c = 0.493 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 0.23 = 0.1134 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 408.24 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Por lo tanto, el horno pirolítico, producirá 0.1134 Kg/s de carbón vegetal.

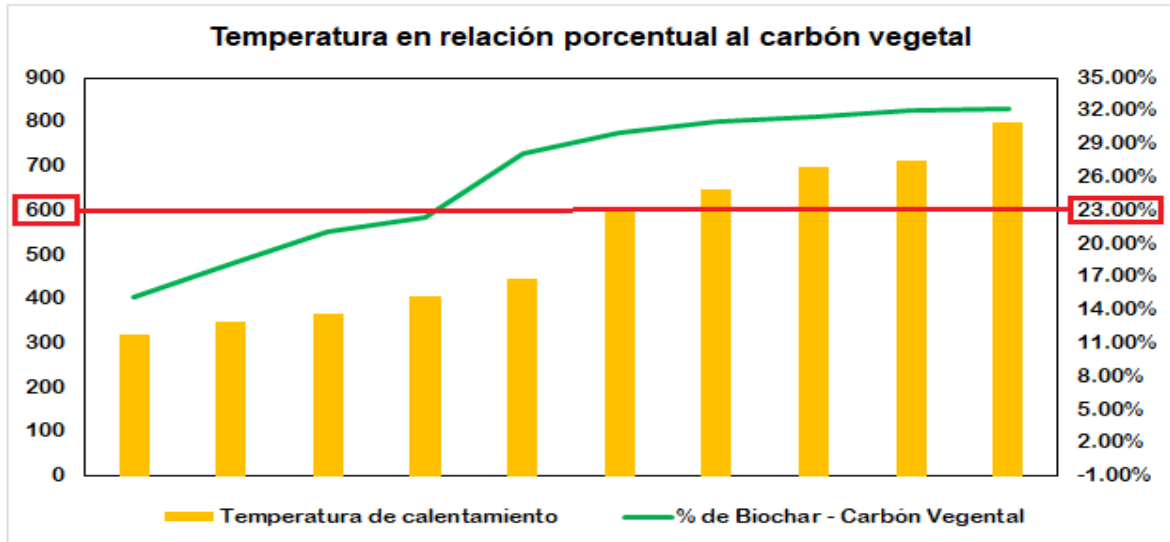


Figura 5. Temperatura en función del % de carbón vegetal producido

Fuente: Elaborado por los autores

Nota: Valores extraído de los artículos científicos de los investigadores Hewei, (2022) y (Mlonka, 2021).

Flujo másico de gas

Aplicando un balance de masas tenemos:

$$\sum \dot{m}_{\text{entrada}} = \sum \dot{m}_{\text{salida}}$$

$$\dot{m}_{rs} = \dot{m}_c + \dot{m}_g$$

Donde: \dot{m}_c es el flujo másico de carbón vegetal, \dot{m}_{rs} es el flujo de residuos sólidos

y \dot{m}_g es el flujo másico de gas.

Reemplazando:

$$0.493 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 0.1134 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} + \dot{m}_g$$

$$\dot{m}_g = 0.3796 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 1366.56 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Por lo consiguiente el flujo másico de gas, que puede producir el horno pirolítico sería 0.3796 Kg/s.

f) Flujo volumétrico de gas

La densidad del biogás pirolítico en promedio tiene un valor de 1.25 Kg/m³

$$\dot{V}_{\text{gas}} = \frac{\dot{m}_g}{\rho_g}$$

Tenemos:

$$\dot{V}_{\text{gas}} = \frac{0.3796 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{1.25 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0.303 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1090.80 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

g) Flujo volumétrico de hidrógeno:

En la figura 6, se muestra como la temperatura y la velocidad de calentamiento, varía respecto a la producción de hidrógeno, donde a una velocidad de 30°C/min y a una temperatura de 600°C, el porcentaje de hidrógeno que se obtendría sería el 40% del flujo volumétrico de gas. Cabe precisar que a mayor temperatura se obtiene hidrógeno de mayor calidad, pero con una fracción porcentual menor.

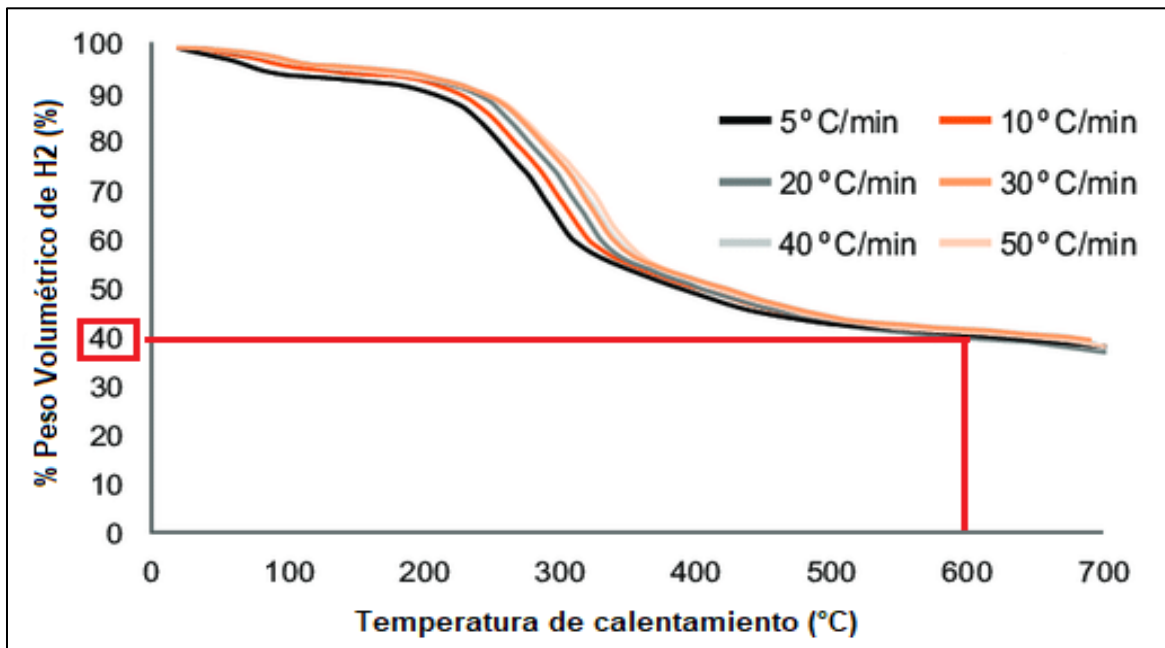


Figura 6. % de hidrógeno pirolítico en función de la temperatura y velocidad.
 Fuente: Gráfico extraído de los artículos científicos de los investigadores Sánchez, et al (2018).

El flujo volumétrico de hidrógeno que se puede producir sería:

$$\dot{V}_h = \dot{V}_{gas} * \%H_2$$

$$\dot{V}_h = 0.303 \frac{m^3}{s} * 0.40 = 0.121 \frac{m^3}{s} = 435.6 \frac{m^3}{h}$$

Y en (Kg/s), tendríamos:

$$\dot{m}_h = \rho_g * \dot{V}_h = 1.25 \frac{Kg}{m^3} * 0.121 \frac{m^3}{s} = 0.151 \frac{Kg}{s} = 543.6 \frac{Kg}{h}$$

En la tabla 5, se muestra el resumen de los resultados del objetivo del diagnóstico

de la situación actual de la generación de residuos sólidos en la ciudad de Chiclayo.

Tabla 5. Resultados del diagnóstico de residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo y parámetros de diseño.

| Parámetro | Valor | Unidad |
|--|--------------|-------------------|
| Residuos sólidos (2022) | 582281.70 | Kg/día |
| Residuos sólidos proyectados (2032) | 851987.56 | Kg/día |
| Ratio de residuos sólidos en la ciudad de Chiclayo | 0.742 | Kg/día/hab. |
| Cantidad de horno pirolíticos necesarios | 20 | - |
| Flujo másico por cada horno pirolítico | 1775 | Kg/h |
| Longitud del horno pirolítico | 5 | m |
| Diámetro del horno pirolítico | 2.2 | m |
| Temperatura de calentamiento | 600 | °C |
| Velocidad de calentamiento | 30 | °C/mín. |
| Flujo másico de biochar (carbón vegetal) | 408.24 | Kg/h |
| Flujo másico de gas | 1336.56 | Kg/h |
| Flujo volumétrico de gas | 1090.80 | m ³ /h |
| Flujo másico de hidrógeno | 543.6 | Kg/h |
| Flujo volumétrico de hidrógeno | 435.60 | m ³ /h |

Fuente: Elaborado por los autores

4.3. SELECCIONAR LOS COMPONENTES ELECTROMEQUÍNICOS DEL HORNO PIROLÍTICO SEGÚN LOS PARÁMETROS DE DISEÑOS

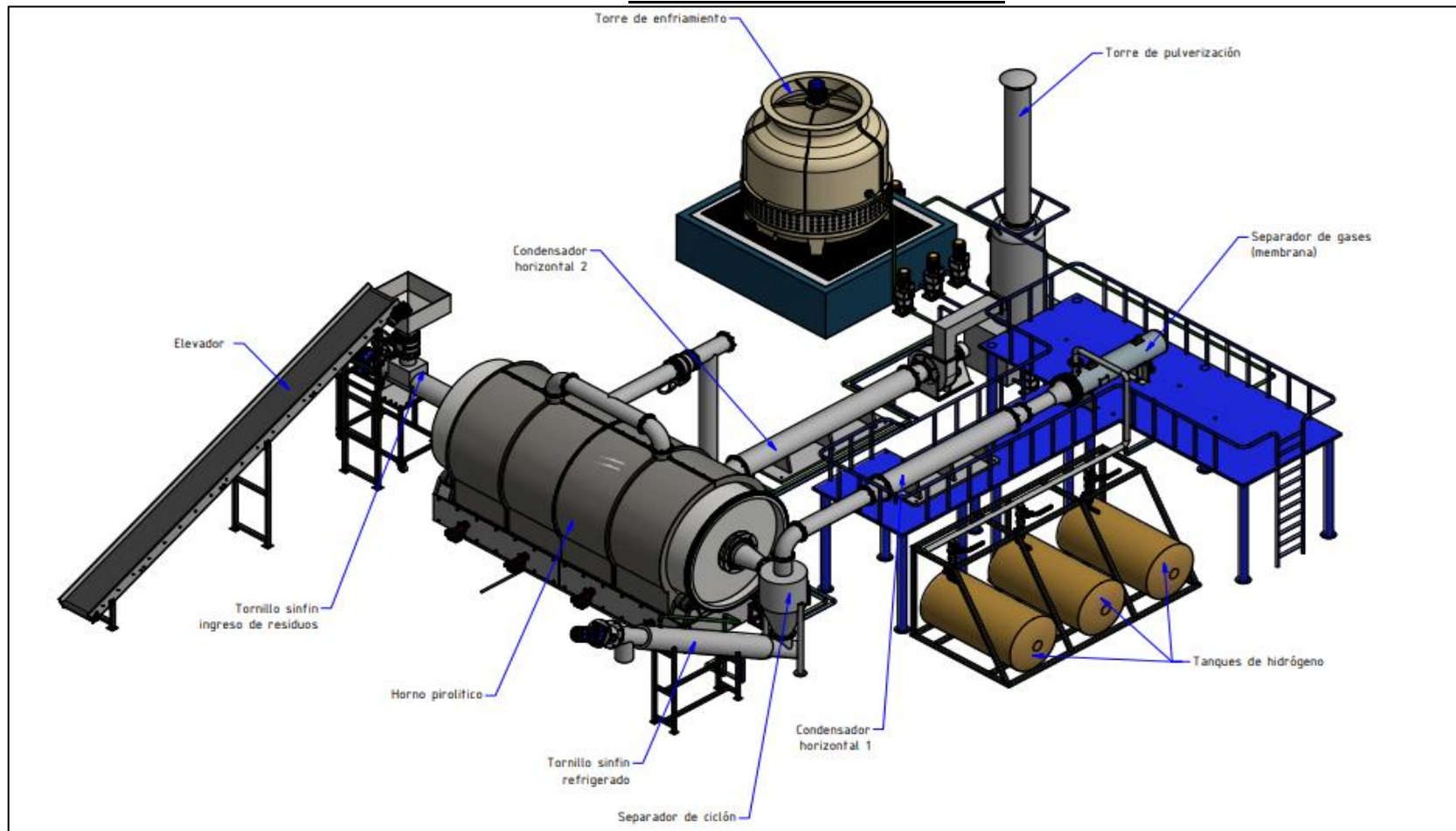


Figura 7. Planta de pirólisis de residuos sólidos
Fuente: Elaborado por los autores

En la figura 7, se muestran los componentes del horno pirolítico para una producción eficiente de hidrógeno, tales como: quemadores, motores eléctricos, sistema de transporte de sólidos residuales, sistema de transmisión de potencia, tornillo sin fin, red de tuberías y tanques de hidrógeno. A continuación, se dimensionan y seleccionan cada uno de los componentes.

4.3.1. Dimensionamiento y selección de quemadores

a) Flujo másico de combustible consumido por los quemadores

Los quemadores se abastecerán con cierta cantidad de hidrógeno producido por el horno pirolítico. Para calcular dicho consumo se empleará la siguiente formulación energética.

$$\dot{m}_q = \frac{\dot{m}_{rs} * C_p * (T_f - T_o)}{PCI}$$

Donde, \dot{m}_q es el flujo de combustible consumido por los quemadores (Kg/s), \dot{m}_{rs} es el flujo másico de residuos sólidos (Kg/s), C_p calor específico de los residuos sólidos (KJ/Kg°C), T_f es la temperatura de calentamiento final (°C), T_o es la temperatura inicial de los residuos sólidos en el horno pirolítico (°C) y PCI es el poder calorífico inferior del hidrógeno.

Datos:

$$\dot{m}_{rs} = 1775 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 0.493 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$C_p = 0.0035 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$T_f = 600^\circ\text{C}$$

$$T_o = 20^\circ\text{C}$$

$$PCI = 120000 \text{ KJ/Kg}$$

$$\dot{m}_q = \frac{0.493 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 0.0035 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (600^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{120000 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}}$$

$$\dot{m}_q = 8.34 * 10^{-6} \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

b) Calor de aporte del hidrógeno para el calentamiento

Es el calor de combustión que necesita el horno pirolítico para la descomposición térmica de los residuos sólidos.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_q * PCI$$

Donde, \dot{Q}_c es el calor de combustión en (KW), \dot{m}_q es el flujo de combustible consumido por los quemadores (Kg/s) y PCI es el poder calorífico inferior del hidrógeno.

Datos:

$$\dot{m}_q = 1.787 * 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 0.643 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$PCI = 120000 \text{ KJ/Kg}$$

Sustituyendo:

$$\dot{Q}_c = 8.34 * 10^{-6} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} * 120000 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 1000 \text{ W}$$

c) Número de quemadores

Según la disposición geométrica del horno pirolítico, se necesitarán 4 quemadores, por lo consiguiente la potencia de cada quemador sería:

d) Potencia unitaria de cada quemador:

Cada quemador debe ser capaz de suministrar una determinada potencia para el calentamiento eficiente del horno pirolítico.

$$\dot{Q}_{uq} = \frac{\dot{Q}_c}{Nq}$$

Donde, \dot{Q}_{uq} es la potencia calorífica unitaria por cada quemador (W), \dot{Q}_c es el calor de aporte total en la combustión y Nq es el número de quemadores.

$$\dot{Q}_{uq} = \frac{1000 \text{ W}}{4} = 250 \text{ W}$$

Por lo tanto, cada quemador debe ser capaz de aportar 250 W de potencia calorífica para el calentamiento de los residuos sólidos. Del proveedor de quemadores BALTUR, seleccionamos el quemador de gas modelo BTG-3, con las dimensiones que se muestran en la figura 8.

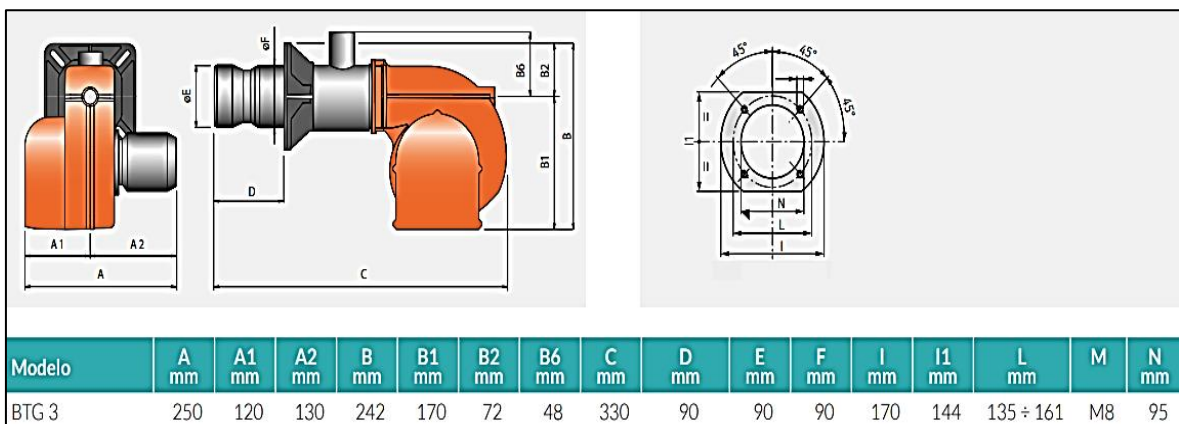


Figura 8. Dimensiones del quemador de gas para el horno pirolítico.

4.3.2. Dimensionamiento y selección del material del horno pirolítico

a) Material del horno pirolítico:

Debido a las altas temperaturas para la descomposición térmica de los residuos

sólidos. Donde la temperatura máxima es 600°C, es importante la selección correcta del tipo de material del cuerpo del horno pirolítico.

El dimensionamiento y selección del material del horno pirolítico se fundamentará según lo dispuesto en el Código ASME Sección VII – División N°1. Para hornos pirolíticos el acero al carbono empleado es el Q235, el cual tiene un buen comportamiento en caliente y tiene alta resistencia a la dilatación térmica.

En la tabla 6, se detallan los principales parámetros técnicos de este material. Para lo cual el límite elástico y la resistencia a la temperatura servirán como datos de entrada para calcular el factor de seguridad del material del horno pirolítico.

Tabla 6. Propiedades mecánicas del material Q235

| Composición química % | | | | | Propiedades mecánicas | | |
|-----------------------|------|------|-------|------|-----------------------|-----------------|---------------------------------|
| C | Si | Mn | P | S | Límite elástico MPa | Alargamiento mm | Resistencia a la Temperatura °C |
| 0.22 | 0.35 | 1.40 | 0.045 | 0.05 | 235 | 26 | -20 a 800 |

En la figura 9, se muestra una sección geométrica del cuerpo del horno pirolítico, el cual será de material acero al carbono Q235R

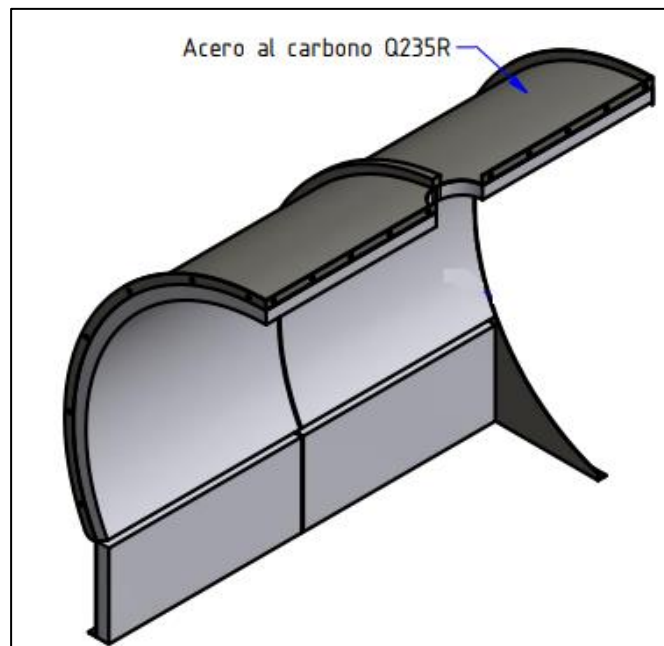


Figura 9. Cuerpo del horno pirolítico de acero Q235
Fuente: Elaborado por los autores

b) Factor de seguridad del horno pirolítico:

Es importante calcular cual es el factor de seguridad que tiene el material del horno pirolítico, para de esta manera garantizar su uso. Para lo cual se empleará la siguiente formulación de diseño.

$$N = \frac{0.5 * \pi * D * L * Sy}{m_{m\acute{a}x} * g}$$

Donde, $m_{m\acute{a}x}$ es la masa máxima de residuos en el horno (Kg), g es la aceleración de la gravedad en (m/s^2), D es el diámetro del horno (m), L es la longitud del horno y Sy es el esfuerzo a la fluencia o límite elástico (MPa)

Datos:

$$m_{m\acute{a}x} = 851987.56 \text{ Kg}/20 = 42600\text{Kg}$$

$$D = 5 \text{ m}$$

$$L = 2.2 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$Sy = 235 \text{ MPa (Tabla 5).}$$

Sustituyendo:

$$N = \frac{0.5 * \pi * 5 * 2.2 * 235000}{42600 * 9.81} = 9.7$$

Por lo consiguiente el factor de seguridad es aceptable. El cual es superior a 3 según lo recomendado por las normas de diseño ASME (American Society of Mechanical Engineers), AISI (American Iron and Steel Institute) y ASTM (American Society for Testing and Materials).

c) Espesor del material

Se trabajará con un espesor comercial para el acero Q235, de 2 pulgadas (50.8 mm). Para cual se tendría una vida útil de 40 años.

$$\text{Vida operativa} = \frac{e_p}{C}$$

Donde, e_p es el espesor de pared (pulg) y C es la velocidad de corrosión del acero con un valor de 0.05 pulg/año.

$$\text{Vida operativa} = \frac{2 \text{ pulg}}{0.05 \frac{\text{pulg}}{\text{año}}} = 40 \text{ años}$$

Por lo consiguiente, la vida útil esperada para un espesor de 2 pulgadas es 40 años.

4.3.3. Dimensionamiento y selección del tornillo sin fin y motor eléctrico

El horno pirolítico debe ser capaz de procesar 1775 Kg de residuos sólidos por hora, y elemento encargado de transportar los residuos sólidos hacia el horno pirolítico es un tornillo sin fin, el cual es accionado por un motor eléctrico.

En la figura 10, se muestran los elementos intervinientes en el sistema de transporte de residuos sólidos hacia el horno pirolítico, el cual depende de la producción en toneladas por día. Asimismo, se cuenta con los elementos: tolva, válvula, motorreductor y tornillo sin fin.

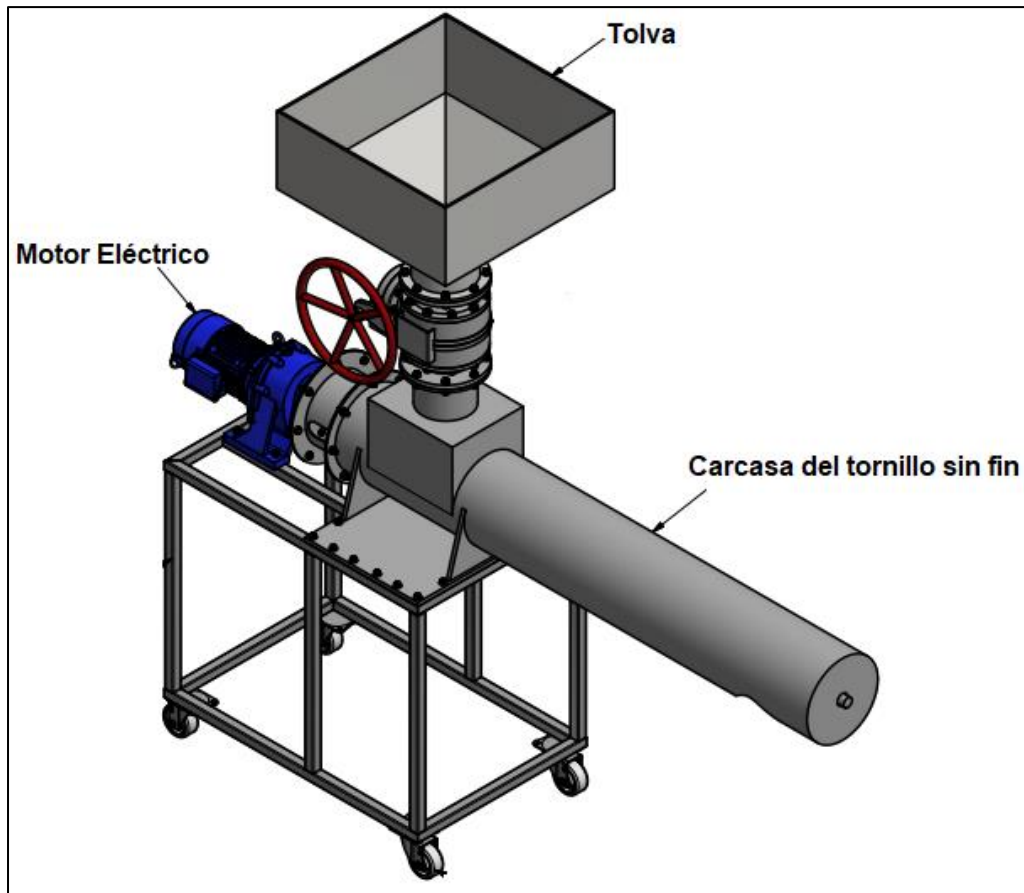


Figura 10. Sistema de transporte de los residuos sólidos hacia el horno pirolítico
Fuente: Elaborado por los autores

a) Fuerza de transporte:

La fuerza del transporte está en relación al peso que debe transportar el tornillo sin fin.

$$F_t = m * g = 1775 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 17413 \text{ N}$$

b) Velocidad de rotación del tornillo sin fin:

El tornillo sin fin, tendrá una velocidad tangencial de 0.15 m/s, y un radio de hélice de 145 m y diámetro de eje de 50 mm, para un buen manejo de los residuos, para poder procesar 1775 Kg/h de sólidos residuales.

$$n = \frac{30 * V_t}{\pi * r}$$

Donde, V_t es la velocidad tangencial del tornillo sin fin con un valor de 0.15 m/s y r es el radio de la hélice del tornillo sin fin de 145 mm.

$$n = \frac{30 * 0.15}{\pi * 0.145} = 10 \text{ rpm}$$

c) Potencia del motorreductor:

Para determinar la potencia del motorreductor, se tiene de cuantificar el momento torsor, el cual se efectuará mediante la siguiente expresión:

$$T_{mr} = F_t * (r - d)$$

Donde, T_{mr} es el momento torsor (N.m), F_t es la fuerza de transporte tangencial, r es el radio del tornillo sin fin, diámetro del eje del tornillo sin fin.

$$T_{mr} = 17413 \text{ N} * (0.145 \text{ m} - 0.050 \text{ m}) = 1654 \text{ N.m} = 1.654 \text{ KN.m}$$

La potencia del motorreductor sería:

$$P_{mr} = \frac{T_{mr} * 10}{9.55}$$

Donde, T_{mr} es el momento torsor (N.m) y n es la velocidad de rotación del tornillo sin fin.

$$P_{mr} = \frac{1.654 * 10}{9.55} = 1.75 \text{ KW}$$

Del proveedor EED de motores eléctricos de alta eficiencia jaula ardilla, seleccionamos el modelo XDRD 90, con una velocidad de rotación de 900 rpm, con una relación de transmisión de 60, para obtener una velocidad de rotación requerida de 10 rpm. Asimismo, el motorreductor es de tipo axial con 8 polos, con un factor de servicio de 1.71, como se muestra en la figura 11.

| RPM | MODELO | BRIDA | F SERV |
|-----|----------|-------|--------|
| 7.5 | XDRV 75 | C180 | 1.36 |
| 7.5 | XDRV 90 | C180 | 2.11 |
| 10 | XDRV 75 | C180 | 1.11 |
| 10 | XDRV 90 | C180 | 1.71 |
| 15 | XDRV 110 | C180 | 2.17 |
| 20 | XDRV 90 | C180 | 1.04 |
| 20 | XDRV 110 | C180 | 1.62 |
| 25 | XDRV 110 | C180 | 1.38 |
| 30 | XDRV 110 | C180 | 1.31 |




Figura 11. Parámetros técnicos del motorreductor del tornillo sin fin.

Y en la figura 12, se muestran las dimensiones geométricas del tornillo sin fin, el cual será del mismo material del horno pirolítico Q235, con un paso entre hélices de 305 mm, diámetro de eje de 50 mm, longitud de 2950 mm y diámetro de hélice de 290 mm.

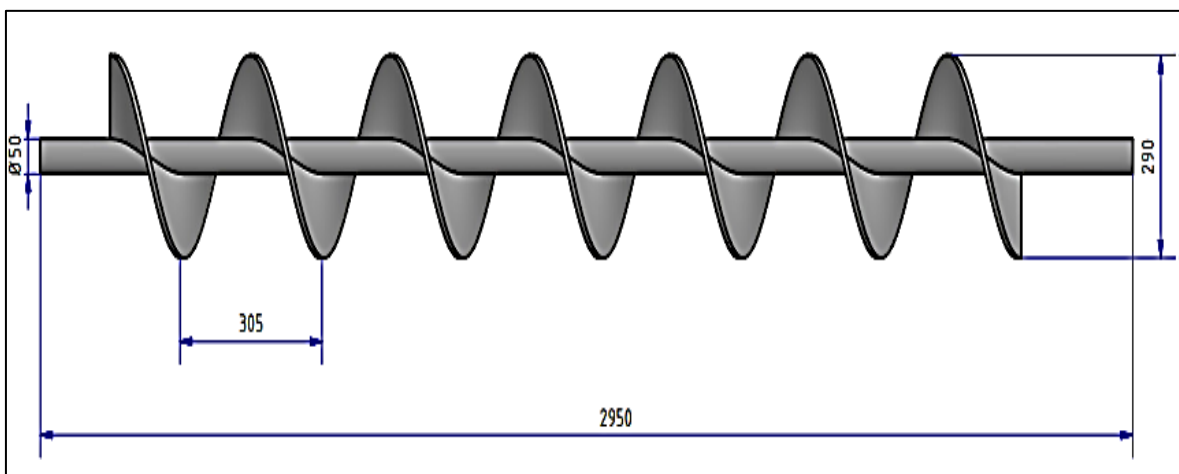


Figura 12. Dimensiones del tornillo son fin.

4.3.4. Dimensionamiento y selección del aislante térmico

El aislante térmico de algodón cerámico, material refractario. El cual se ubicará en el interior del cuerpo del horno pirolítico.

En la figura 13, se muestra una sección del cuerpo del horno pirolítico, el cual será envuelto interiormente por aislante térmico de algodón cerámico, para de esta manera reducir las pérdidas de calor al medio ambiente.

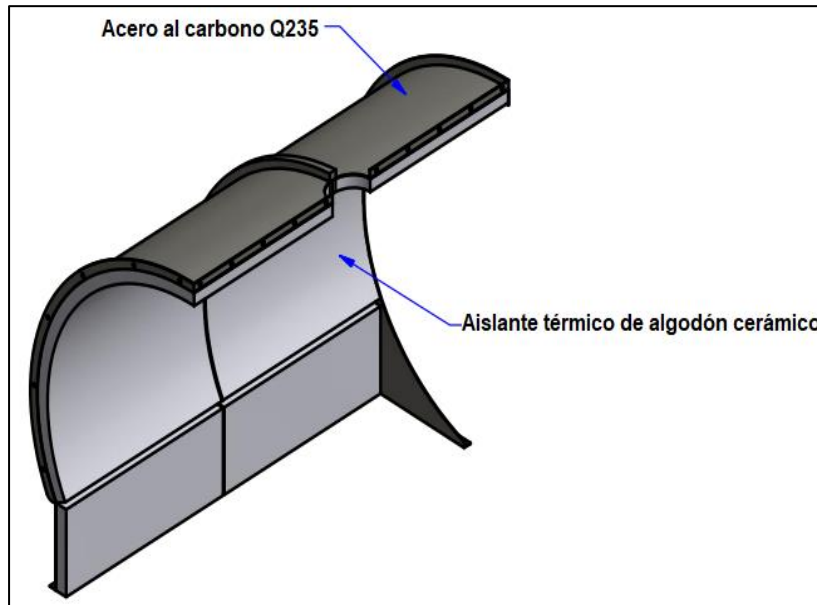


Figura 13. Ubicación del aislante térmico de algodón cerámico

a) Espesor del aislamiento térmico:

Para determinar el espesor del aislante de algodón cerámico se tiene que calcular primero el diámetro interior del aislante. Se empleará la siguiente fórmula de transferencia de calor por conducción.

$$D = D_{\text{int}} * e \frac{0.88 * K_a * L * (T_p - T_0)}{\dot{Q}_c}$$

Datos:

D_{int} : Diámetro interior del aislante

D: Diámetro interior del horno, $D = 2.2 \text{ m}$

\dot{Q}_c : calor de combustión, $\dot{Q}_c = 1000 \text{ W}$

L: Longitud del horno, $L = 5 \text{ m}$

T_p : Temperatura de pared interna, $T_p = 600^\circ\text{C}$

T_o : Temperatura de la pared externa, $T_o = 50^\circ\text{C}$

K_a : Conductividad térmica del aislante (algodón cerámico), $K_a = 0.035 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$

$$2.2 = D_{\text{int}} * e^{\frac{0.88 * 0.035 * 5 * (600 - 50)}{1000}}$$

$$D_{\text{int}} = 2.02 \text{ m}$$

El espesor del aislante algodón cerámico, sería:

$$\delta_a = \frac{D - D_{\text{int}}}{2} = \frac{2.2 \text{ m} - 2.02 \text{ m}}{2} = 90 \text{ mm}$$

4.3.5. Dimensionamiento y selección del sistema de transmisión

En la figura 14, se muestra el sistema de transmisión por engranajes y fajas en V, para el accionar rotacional del horno pirolítico para que los residuos sólidos puedan descomponerse eficientemente.

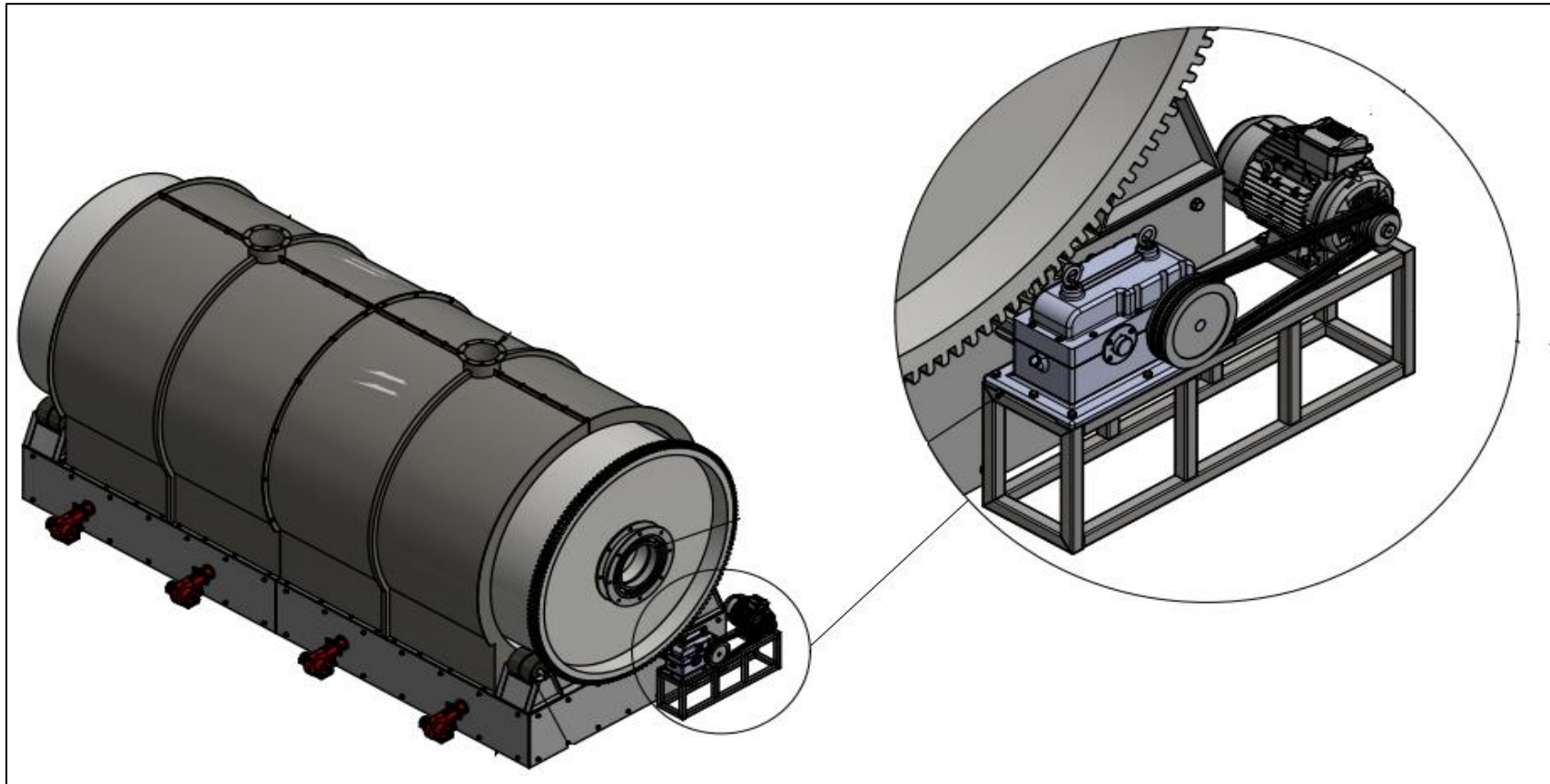


Figura 14. Sistema de transmisión del horno pirolítico.
Fuente: Elaborado por los autores

a) Potencia del motor del sistema de transmisión

Para las condiciones específicas el motor eléctrico es 1.5 KW con una velocidad de rotación de 1740 rpm.

b) Velocidad angular del motor eléctrico:

$$\omega_{ME} = \frac{\pi * n_{ME}}{30}$$

Dato:

n_{ME} : Velocidad angular del motor eléctrico $\rightarrow n_{ME} = 1740$ rpm

Sustituyendo:

$$\omega_{ME} = \frac{\pi * 1740 \text{ rpm}}{30}$$

$$\omega_{ME} = 182.21 \text{ rad/s}$$

c) Velocidad angular del tornillo sin fin:

$$\omega_{TS} = \frac{V}{R}$$

Dato:

Velocidad de rotación del tornillo sin fin: $n_{TS} = 10$ rpm

En rad/s, tenemos:

$$\omega_{TS} = \frac{\pi * n_{TS}}{30}$$

$$\omega_{TS} = \frac{\pi * 10}{30}$$

$$\omega_{TS} = 1.05 \text{ rad/s}$$

d) Reducción de velocidad directo por fajas en V:

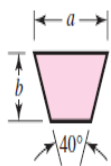
Debido a que el motor eléctrico se mueve a una velocidad de 1740 rpm y a una potencia de 1.5 KW (2HP), y se requiere de una velocidad de 10 rpm para poder mover el horno pirolítico, se plantea la instalación de fajas en V, para determinar su longitud, potencia, distancia entre centros, geometría y cantidad de bandas.

En tabla 7, la potencia de 2 HP, está en el rango nominal de 1/4 a 10 HP, para lo cual el diámetro mínimo de la polea en el lado del motor eléctrico debe ser 3 pulgadas. Asimismo, el tipo de sección es "A" con un ancho de banda de 1/2 pulgada y un espesor de 11/32 pulgadas.

Tabla 7: Secciones de fajas en V

| Sección de la banda | Ancho a , pulg | Espesor b , pulg | Diámetro mínimo de polea, pulg | Intervalo de potencias (hp), una o más bandas |
|---------------------|------------------|--------------------|--------------------------------|---|
| A | $\frac{1}{2}$ | $\frac{11}{32}$ | 3.0 | $\frac{1}{4}$ -10 |
| B | $\frac{21}{32}$ | $\frac{7}{16}$ | 5.4 | 1-25 |
| C | $\frac{7}{8}$ | $\frac{17}{32}$ | 9.0 | 15-100 |
| D | $1\frac{1}{4}$ | $\frac{3}{4}$ | 13.0 | 50-250 |
| E | $1\frac{1}{2}$ | 1 | 21.6 | 100 y mayores |

Secciones de bandas en V estándar



Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Por lo consiguiente de la fórmula de relación de velocidades, tenemos que el diámetro de la polea en el lado del tornillo sin fin sería:

$$n_1 * d = n_2 * D$$

Dónde:

n_1 : Velocidad de rotación del motor eléctrico $\rightarrow n_1 = 1740$ rpm

n_2 : Velocidad de rotación del tornillo sin fin $\rightarrow n_2 = 10$ rpm

d: Diámetro de la polea motriz $\rightarrow d = 3$ pulg.

D: Diámetro de la polea conducida

Reemplazando:

$$1740 \text{ rpm} * 3 \text{ pulg} = 10 \text{ rpm} * D$$

$$D = 522 \text{ pulg (Valor incorrecto o erróneo para el diseño)}$$

Se concluye, que antes que se instalen fajas en V, se debe colocar un reductor de velocidad.

En la tabla 8, se muestran distintas relaciones de transmisión por engranajes para una potencia de 1.50 KW (2HP). Para una relación de transmisión de 80, la velocidad de salida será de 21.90 rpm, luego esta velocidad se reducirá a 10 rpm requeridos por el horno pirolítico, por medio de fajas en V.

Tabla 8: Tabla de reductor de velocidad coaxial con engranajes helicoidales

| rpm | | i_{tot} | fs | Fr (N) | código | páginas |
|------|------|-----------|------|--------|-----------|---------|
| 83,6 | 20,9 | 4,78 | 7900 | C56226 | 113 a 115 | |
| 71,0 | 24,7 | 4,06 | 8200 | C56227 | 113 a 115 | |
| 66,6 | 26,3 | 3,81 | 8800 | C56228 | 113 a 115 | |
| 78,6 | 22,3 | 4,50 | 9900 | C56327 | 113 a 115 | |
| 70,4 | 24,8 | 4,03 | 9900 | C56328 | 113 a 115 | |
| 65,1 | 26,9 | 3,73 | 9900 | C56329 | 113 a 115 | |
| 53,9 | 32,5 | 3,08 | 9900 | C56330 | 113 a 115 | |
| 46,6 | 37,6 | 2,67 | 9900 | C56331 | 113 a 115 | |
| 43,7 | 40,1 | 2,50 | 9900 | C56332 | 113 a 115 | |
| 39,1 | 44,7 | 2,24 | 9900 | C56333 | 113 a 115 | |
| 36,2 | 48,4 | 2,07 | 9900 | C56334 | 113 a 115 | |
| 29,9 | 58,5 | 1,71 | 9900 | C56335 | 113 a 115 | |
| 25,9 | 67,6 | 1,48 | 9900 | C56337 | 113 a 115 | |
| 21,9 | 80,0 | 1,25 | 9900 | C56338 | 113 a 115 | |

Fuente: Tabla extraída del proveedor EED motorreductores para motores eléctricos

En la figura 15, se muestra como un sistema de reducción de velocidades por engranajes helicoidales, permite reducir la velocidad del motor de 1740 rpm a 21.90 rpm. Para luego mediante fajas en V, lograr llegar a 10 rpm (velocidad requerida por el horno)



Figura 15: Sistema de reducción de la velocidad por engranajes helicoidales.

En la figura 16, se muestra el esquema de reducción de velocidad por fajas en V, donde la velocidad de salida del motorreductor es 21.90 rpm los cuales se reducirán

a 10 rpm.

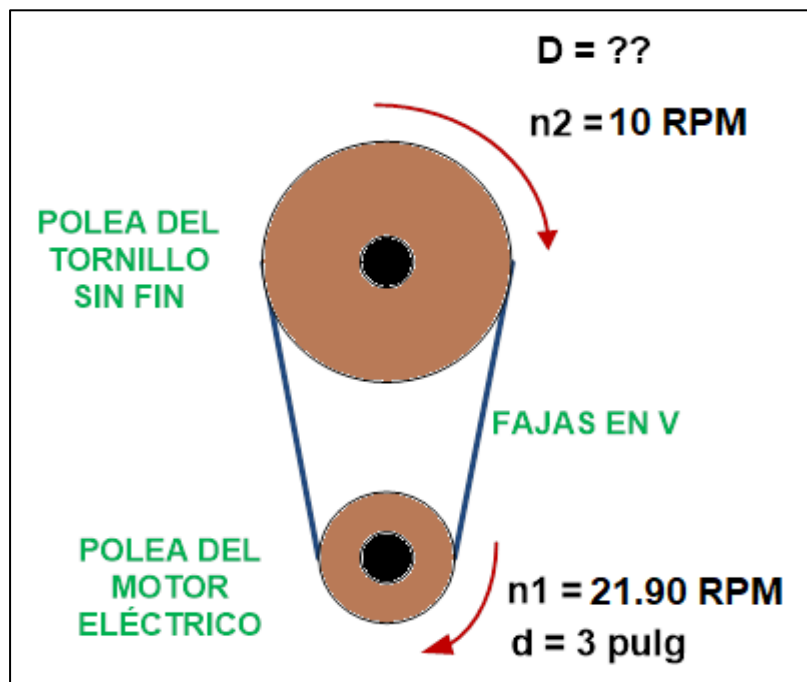


Figura 16: Sistema de transmisión por fajas en V
Fuente: Elaborado por los autores

Tenemos:

$$21.90 \text{ rpm} * 3 \text{ pulg} = 10 \text{ rpm} * D$$

$$D = 6.60 \text{ pulg (Valor aceptable y razonable)}$$

e) Diseño de fajas en V

Datos:

Tipo de faja: "A"

n_1 : Velocidad de entrada $\rightarrow n_1 = 21.90 \text{ rpm}$

n_2 : Velocidad de rotación del tornillo sin fin $\rightarrow n_2 = 10 \text{ rpm}$

d : Diámetro de la polea motriz $\rightarrow d = 3 \text{ pulg.}$

D : Diámetro de la polea conducida $\rightarrow D = 6.60 \text{ pulg.}$

Distancia entre centros recomendado:

$$C_{\text{recom}} = \frac{3 * (D + d)}{2}$$

$$C_{\text{recom}} = \frac{3 * (6.60 \text{ pulg} + 3 \text{ pulg})}{2}$$

$$C_{\text{recom}} = 14.40 \text{ pulg}$$

Longitud de paso:

$$L_p = 2C + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C}$$

$$L_p = 2 * 14.40 \text{ pulg} + \frac{\pi}{2}(6.6 \text{ pulg} + 3 \text{ pulg}) + \frac{(6.6 \text{ pulg} - 3 \text{ pulg})^2}{4 * 14.40 \text{ pulg}}$$

$$L_p = 44.10 \text{ pulg}$$

Longitud interna:

$$L_p = L_{\text{int}} + \#$$

$$L_{\text{int}} = L_p - \#$$

En la tabla 9, se muestra la cantidad a sumar a la longitud interior, para determinar la longitud de paso de la banda en V.

Tabla 9: Dimensiones de conversión de longitud

| | | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Sección de la banda | A | B | C | D | E |
| Cantidad a sumar | 1.3 | 1.8 | 2.9 | 3.3 | 4.5 |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Tenemos:

$$L_{int} = 44.10 \text{ pulg} - 1.3 \text{ pulg}$$

$$L_{int} = 42.80 \text{ pulg}$$

Estandarizamos la longitud interior:

$$L_{int} = 42.80 \text{ pulg} \rightarrow L_{int} = 42 \text{ pulg}$$

En la tabla 10, se muestran las longitudes interiores comerciales o estandarizadas, según el tipo de sección de banda. Para nuestro caso la sección "A", tiene una longitud interior de 42 pulgadas.

Tabla 10: Longitudes interiores de fajas en V

| Sección | Circunferencia, pulg |
|---------|---|
| A | 26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128 |
| B | 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300 |
| C | 51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420 |
| D | 120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660 |
| E | 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660 |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Longitud de paso real:

$$L_p = L_{int} + \#$$

$$L_p = 42 \text{ pulg} + 1.3 \text{ pulg} = 43.30 \text{ pulg}$$

Distancia entre centros real:

$$C_{real} = 0.25 \left\{ \left[L_p - \frac{\pi}{2} (D + d) \right] + \sqrt{\left[L_p - \frac{\pi}{2} (D + d) \right]^2 - 2 * (D - d)^2} \right\}$$

$$C_{real} = 0.25 \left\{ \left[43.30 - \frac{\pi}{2} (6.6 + 3) \right] + \sqrt{\left[43.30 - \frac{\pi}{2} (6.6 + 3) \right]^2 - 2 * (6.6 - 3)^2} \right\}$$

$$C_{real} = 14 \text{ pulg}$$

Factor de corrección por ángulo de contacto:

$$\frac{D - d}{C} = \frac{6.6 \text{ pulg} - 3 \text{ pulg}}{14} = 0.26$$

En la tabla 11, se observan los factores de corrección, según el ángulo de contacto entre la polea y la banda. Donde a menor ángulo, incrementa dicho factor.

Tabla 11: Factor de corrección por ángulo de contacto K_1

| $\frac{D-d}{C}$ | θ , grados | VV | K_1 Plana en V |
|-----------------|-------------------|------|---------------------|
| 0.00 | 180 | 1.00 | 0.75 |
| 0.10 | 174.3 | 0.99 | 0.76 |
| 0.20 | 166.5 | 0.97 | 0.78 |
| 0.30 | 162.7 | 0.96 | 0.79 |
| 0.40 | 156.9 | 0.94 | 0.80 |
| 0.50 | 151.0 | 0.93 | 0.81 |
| 0.60 | 145.1 | 0.91 | 0.83 |
| 0.70 | 139.0 | 0.89 | 0.84 |
| 0.80 | 132.8 | 0.87 | 0.85 |
| 0.90 | 126.5 | 0.85 | 0.85 |
| 1.00 | 120.0 | 0.82 | 0.82 |
| 1.10 | 113.3 | 0.80 | 0.80 |
| 1.20 | 106.3 | 0.77 | 0.77 |
| 1.30 | 98.9 | 0.73 | 0.73 |
| 1.40 | 91.1 | 0.70 | 0.70 |
| 1.50 | 82.8 | 0.65 | 0.65 |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Interpolando:

$$\frac{0.30 - 0.26}{0.30 - 0.20} = \frac{0.96 - K_1}{0.96 - 0.97}$$

$$K_1 = 0.964$$

En la tabla 12, se muestra el factor de corrección por longitud de banda, para una longitud de paso de 43.30 pulg con sección "A", el factor de corrección de longitud de la faja, sería: $K_2 = 0.90$

Tabla 12: Factor de corrección por longitud de la faja K_2

| Factor de longitud | Longitud nominal de la banda, pulg | | | | |
|--------------------|------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| | Bandas A | Bandas B | Bandas C | Bandas D | Bandas E |
| 0.85 | Hasta 35 | Hasta 46 | Hasta 75 | Hasta 128 | |
| 0.90 | 38-46 | 48-60 | 81-96 | 144-162 | Hasta 195 |
| 0.95 | 48-55 | 62-75 | 105-120 | 173-210 | 210-240 |
| 1.00 | 60-75 | 78-97 | 128-158 | 240 | 270-300 |
| 1.05 | 78-90 | 105-120 | 162-195 | 270-330 | 330-390 |
| 1.10 | 96-112 | 128-144 | 210-240 | 360-420 | 420-480 |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

En la tabla 13, se muestran los factores de servicio, según la clase y máquina. Para un transportador de carga pesado como el horno pirolítico, tendríamos un factor de servicio de: $K_s = 1.2$

Tabla 13: Factor de servicio K_s

| Máquina accionada | | Máquina motriz | | | | | |
|------------------------------|---|---|---------|-----|---|---------|-----|
| Clase | Ejemplos | Motores eléctricos (C.A. de arranque suave C.D. con arrancador estrella delta, C.D. Shunt), motores de combustión interna con más de 4 cilindros, máquinas con acoples flexibles. | | | Motores eléctricos (C.A. de arranque directo, C.D. serie y compuesto), máquinas de combustión interna con menos de 4 cilindros. | | |
| | | Horas de trabajo diarias | | | Horas de trabajo diarias | | |
| | | <10 | 10 a 16 | >16 | <10 | 10 a 16 | >16 |
| 1 (servicio ligero) | Agitador (densidad uniforme). Ventilador y soplador (<7.5kW). Compresor y bomba centrífuga. Banda transportadora (carga uniforme). | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| 2 (servicio medio) | Agitador (densidad variable). Ventilador y soplador (>7.5kW). Compresor y bomba rotatoria. Banda transportadora (carga no uniforme). Generador, Lavadora, Eje de transmisión. Máquina herramienta, Imprenta, Máquina para madera. | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| 3 (servicio pesado) | Máquina para fabricar ladrillo. Elevador, Compresor y Bomba recíproca. Transportadora (carga pesada) Montacargas, Molino de percusión, Pulverizadora, Prensa, Cizalla, Maquinaria para caucho, Vibrador, Maquinaria textil | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.6 |
| 4 (servicio extra pesado) | Troqueladora, Laminadora Trituradora circular, de mordazas, de rodillos Molino triturador de bolas y de barras | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.8 |

Fuente: Extraído del libro: "Elementos de máquinas". Autor: Fratschner O.

En la tabla 14, se muestran los factores de seguridad, dependiendo del tipo de materiales. Para nuestro caso, se trabajará con materiales comerciales conocidos como el acero al carbono, por lo cual el factor de seguridad seleccionado sería: FS= 1.5

Tabla 14: Factores de seguridad de diseño de materiales

| Caso | Factor de Seguridad <i>FS</i> | Observaciones |
|------|-------------------------------|--|
| 1 | 1,25 ... 1,5 | Para materiales excepcionalmente confiables usados bajo condiciones controladas y sujetos a carga y esfuerzos que pueden determinarse con exactitud. Una consideración muy importante es que casi siempre se usan para pesos pequeños. |
| 2 | 1,5 ... 2 | Para materiales bien conocidos, para condiciones de medio ambiente razonablemente constantes y sujetos a carga y esfuerzos que puedan calcularse con facilidad. |
| 3 | 2 ... 2,5 | Para materiales promedio que trabajen en condiciones de medio ambiente ordinarias y sujetos a cargas y esfuerzos que puedan calcularse. |

Fuente: Extraído de “Mechine Design Projects” de Joseph Vidosic (2015)

Potencia tabulada (Este análisis se realiza con la velocidad máxima del motor):

Relación de transmisión de velocidad:

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

$$i = \frac{21.90 \text{ rpm}}{10 \text{ rpm}} = 2.19$$

Potencia adicional por velocidad de transmisión:

$$P_{\text{adicional x velocidad transmisión}} = \frac{\text{Factor de potencia adicional} * \eta_{ME}}{100}$$

Para fajas en V, de sección “A” con relaciones de transmisión superiores a 2, el factor de potencia adicional es 0.01618 (Vidosic, 2015).

Sustituyendo:

$$P_{\text{adicional x velocidad transmisión}} = \frac{0.01618 * 1740}{100} = 0.282 \text{ HP}$$

Velocidad tangencial máxima:

$$V_t = \omega_1 * r_1$$

Convirtiendo a rad /min

$$\omega_1 = \frac{\pi * n_1}{30} = \frac{\pi * 21.90}{30} = 2.30 \text{ rad/s}$$

$$\omega_1 = 2.30 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 138 \text{ rad/min}$$

Y el radio de la polea motriz:

$$r_1 = \frac{d}{2} = \frac{3 \text{ pulg}}{2} = 1.5 \text{ pulg}$$

Nota: 1 pie = 12 pulg

$$r_1 = 1.5 \text{ pulg} * \frac{1 \text{ pie}}{12 \text{ pulg}} = 0.125 \text{ pie}$$

Tenemos:

$$V_t = 138 \frac{\text{rad}}{\text{min}} * 0.125 \text{ pie} = 17.25 \text{ pie/min}$$

En la tabla 15, se observa, que una vez calculado la velocidad tangencial y con el diámetro de la polea motriz, se obtiene la potencia tabulada de la banda.

Tabla 15: Potencia tabulada de la banda en V

| Sección de la banda | Diámetro de paso de la polea, pulg | Velocidad de la banda, pie/min | | | | |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 000 | 2 000 | 3 000 | 4 000 | 5 000 |
| A | 2.6 | 0.47 | 0.62 | 0.53 | 0.15 | |
| | 3.0 | 0.66 | 1.01 | 1.12 | 0.93 | 0.38 |
| | 3.4 | 0.81 | 1.31 | 1.57 | 1.53 | 1.12 |
| | 3.8 | 0.93 | 1.55 | 1.92 | 2.00 | 1.71 |
| | 4.2 | 1.03 | 1.74 | 2.20 | 2.38 | 2.19 |
| | 4.6 | 1.11 | 1.89 | 2.44 | 2.69 | 2.58 |
| | 5.0 y mayor | 1.17 | 2.03 | 2.64 | 2.96 | 2.89 |
| B | 4.2 | 1.07 | 1.58 | 1.68 | 1.26 | 0.22 |
| | 4.6 | 1.27 | 1.99 | 2.29 | 2.08 | 1.24 |
| | 5.0 | 1.44 | 2.33 | 2.80 | 2.76 | 2.10 |
| | 5.4 | 1.59 | 2.62 | 3.24 | 3.34 | 2.82 |
| | 5.8 | 1.72 | 2.87 | 3.61 | 3.85 | 3.45 |
| | 6.2 | 1.82 | 3.09 | 3.94 | 4.28 | 4.00 |
| | 6.6 | 1.92 | 3.29 | 4.23 | 4.67 | 4.48 |
| | 7.0 y mayor | 2.01 | 3.46 | 4.49 | 5.01 | 4.90 |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Tenemos:

$$H_{\text{tab}}^* = 0.66 \text{ HP}$$

Potencia tabulada total:

$$H_{\text{tab}} = H_{\text{tab}}^* + P_{\text{adicional}} \times \frac{\text{velocidad}}{\text{transmisión}}$$

$$H_{\text{tab}} = 0.66 \text{ HP} + 0.282 \text{ HP}$$

$$H_{\text{tab}} = 0.942 \text{ HP}$$

Número de fajas:

De la relación de potencias:

$$FS * H_{nom} * K_s = N_b * H_{tab} * K_1 * K_2$$

Dónde:

$$FS = 1.5$$

$$H_{nom} = 2 \text{ HP}$$

$$K_s = 1.2$$

$$H_{tab} = 0.942 \text{ HP}$$

$$K_1 = 0.964$$

$$K_2 = 0.90$$

Reemplazando:

$$1.5 * 2\text{HP} * 1.2 = N_b * 0.942\text{HP} * 0.964 * 0.90$$

$$N_b = 4.4 \approx 5$$

Torque en el horno pirolítico:

$$T_2 = \frac{P}{\omega_2}$$

$$T_2 = \frac{1.50 \text{ KW}}{1.05 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T_2 = 1.43 \text{ KN.m}$$

Fuerza tangencial (Es igual en la polea motriz y conducida)

Dónde: $D=6.60 \text{ pulg} = 0.16764 \text{ m}$

$$T_2 = F_t * \frac{D}{2}$$

$$1.43 \text{ KN.m} = F_t * \frac{0.16764 \text{ m}}{2}$$

$$F_t = 17 \text{ KN}$$

Determinamos el ángulo de contacto:

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \left[\frac{D - d}{2 * C} \right]$$

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \left[\frac{6.60 - 3}{2 * 14} \right]$$

$$\theta_d = 165^\circ$$

En la figura 17, se muestran los componentes de la fuerza tangencial de la faja en V, los cuales serán de relevancia para el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan en el horno pirolítico.

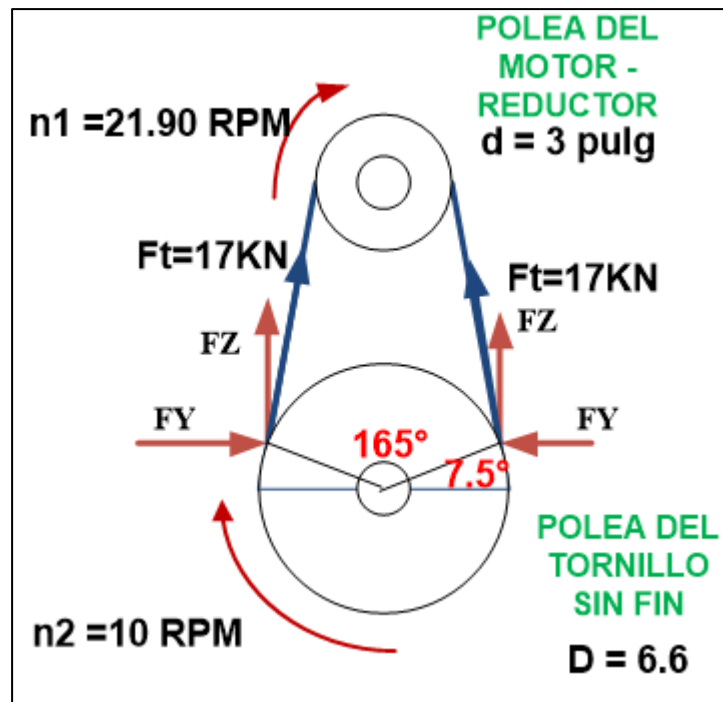


Figura 17: componentes de la fuerza tangencial
 Fuente: Elaborado por los autores

$$F_z = F_t * \cos(7.5^\circ) = 17\text{KN} * \cos(7.5) = 16.86 \text{ KN}$$

$$F_y = F_t * \sin(7.5^\circ) = 17\text{KN} * \sin(7.5) = 2.22 \text{ KN}$$

f) Diseño del eje de transmisión de potencia

En la figura 18, se muestra el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre el horno pirolítico, engranajes de transmisión para su movimiento y fuerzas de las fajas en V.

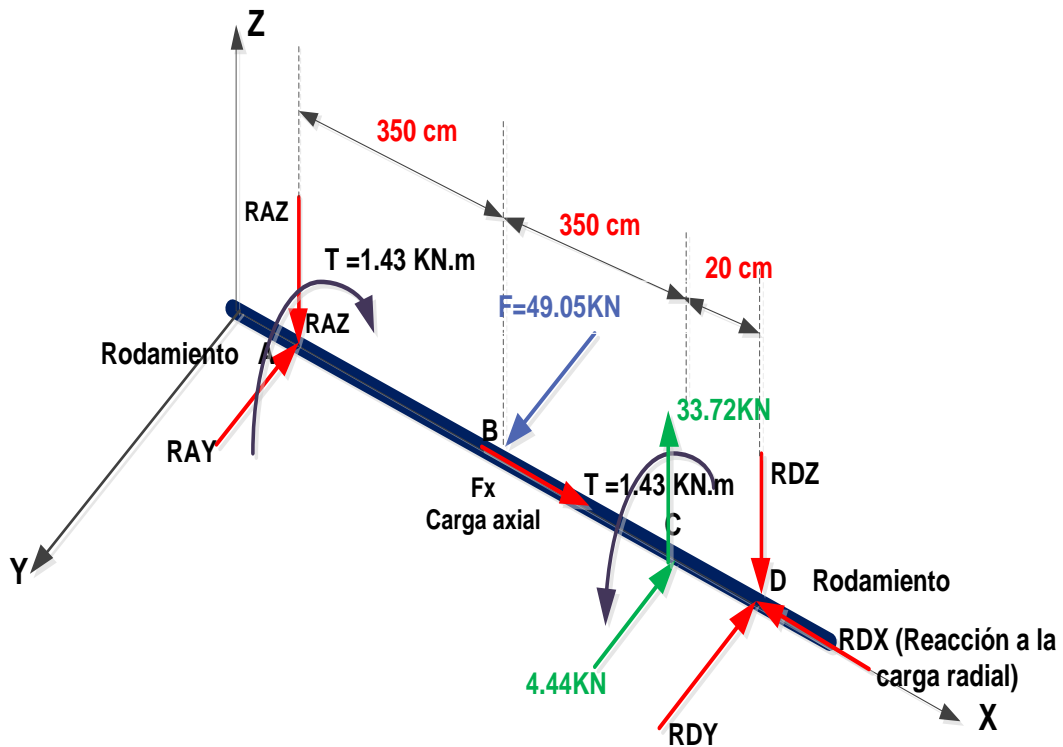


Figura 18: Diagrama de cuerpo libre del eje
Fuente: Elaborado por los autores

Determinación de las reacciones en los apoyos o rodamientos:

$$\sum (M_A)_y = 0$$

$$+33.72 * 700 - R_{DZ} * 720 = 0$$

$$R_{DZ} = 32.80 \text{ KN}$$

$$\sum (M_A)_z = 0$$

$$+4.44 * 700 - 49.05 * 350 + R_{DY} * 720 = 0$$

$$R_{DY} = 19.51 \text{ KN}$$

$$\sum (M_A)_x = 0$$

$$T_{EJE} = 1.43 \text{ KN. m}$$

$$\sum (F)_z = 0$$

$$-R_{AZ} + 33.72 - R_{DZ} = 0$$

$$-R_{AZ} + 33.72 - 32.80 \text{ KN} = 0$$

$$R_{AZ} = 0.92 \text{ KN}$$

$$\sum (F)_y = 0$$

$$49.05 - 4.44 - R_{DY} - R_{AY} = 0$$

$$49.05 - 4.44 - 19.51 - R_{AY} = 0$$

$$R_{AY} = 25.10 \text{ KN}$$

Fuerza axial (Para una carga dinámica el porcentaje de la carga axial varia en el rango de 5 a 8%, elegimos el mayor valor porcentual)

$$F_x = 49.05 * 0.08 = 4 \text{ KN} = R_{DX}$$

En la tabla 16, se observa que para una carga dinámica el porcentaje de la carga axial debe estar en el rango de 5 a 8% de la carga radial. Para un diseño confiable elegiremos el máximo valor.

Tabla 16: Porcentaje de carga para la fuerza axial.

| Tipo de carga | Porcentaje de la carga (%) |
|---------------|----------------------------|
| Estática | 3 a 5 |
| Dinámica | 5 a 8 |
| Mixta | 10 a 15 |

Fuente: Extraído del libro: "Elementos de máquinas" Fratschner (2015)

Diagramas de carga del eje transmitido

Diagrama de Fuerza cortante $V_y - X$

En la figura 19, se muestra el diagrama de cargas que actúan en el eje "y", bajo un comportamiento de carga cortante, con un valor máximo de 25.10 KN.

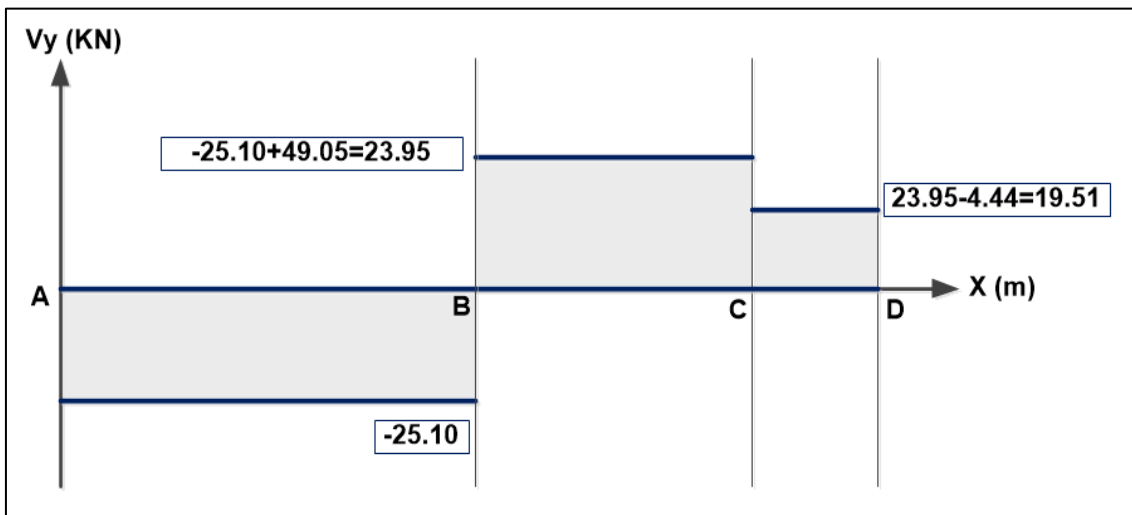


Figura 19: Diagrama de Fuerza cortante $V_y - X$

Fuente: Elaborado por los autores

Diagrama de Fuerza cortante $V_z - X$

En la figura 20, se muestra el diagrama de cargas que actúan en el eje "z", bajo un comportamiento de carga cortante, con un valor máximo de 32.80 KN.

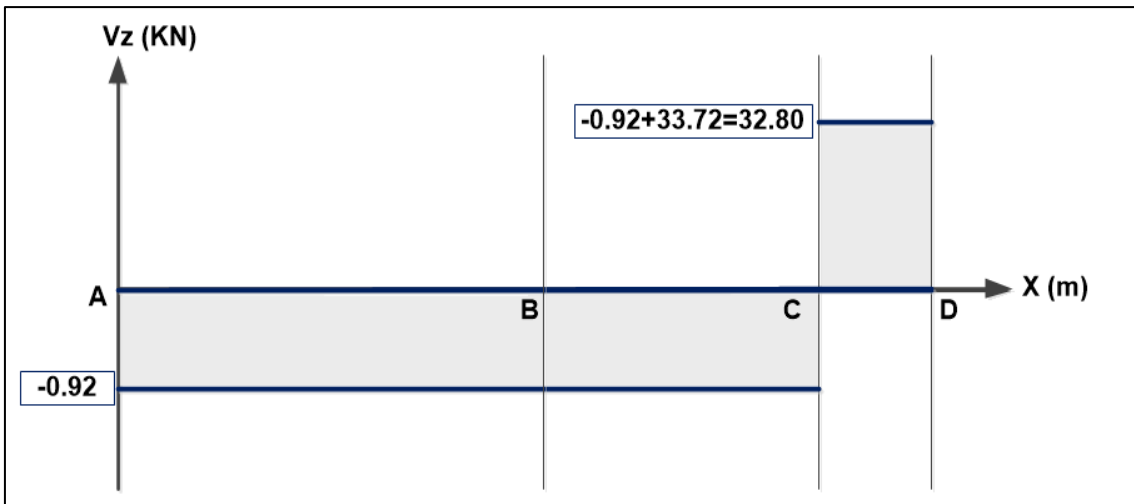


Figura 20: Diagrama de Fuerza cortante $V_z - X$

Fuente: Elaborado por los autores

Diagrama de Momento flexionante $M_z - X$

En la figura 21, se muestra el diagrama de cargas que actúan en el eje "z", bajo un comportamiento de momento flexionante, con un valor máximo de 87.85 KN.m.

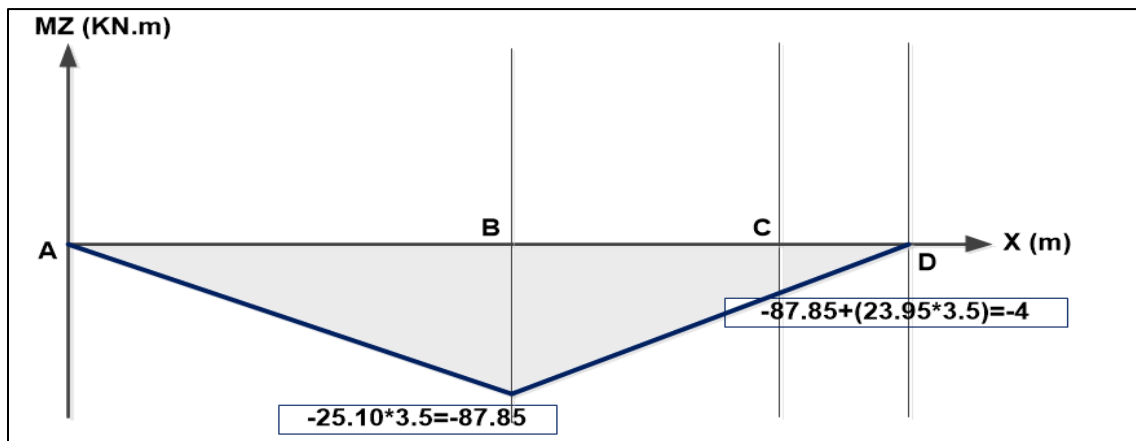


Figura 21: Diagrama de Momento flexionante $M_z - X$

Fuente: Elaborado por los autores

Diagrama de Momento flexionante $M_y - X$

En la figura 22, se muestra el diagrama de cargas que actúan en el eje "y", bajo un comportamiento de momento flexionante, con un valor máximo de 6.44 KN.m.

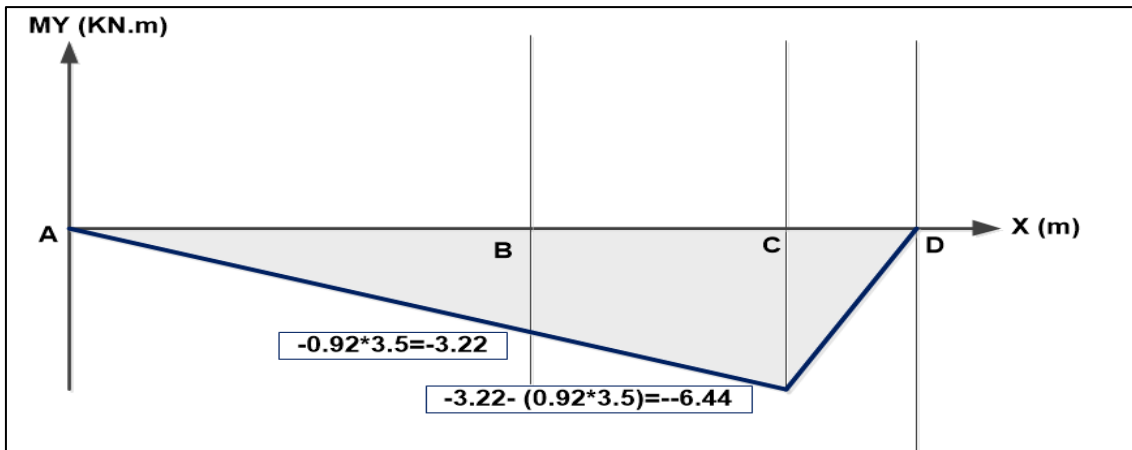


Figura 22: Diagrama de Momento flexionante $M_y - X$
Fuente: Elaborado por los autores

Momento resultante $M_R - X$

Para determinar el momento resultante, en cada sección, utilizaremos la siguiente, formulación

$$M_R = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}$$

Para la sección A:

$$M_R = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ N.m}$$

Para la sección B:

$$M_R = \sqrt{(87.85)^2 + (-3.22)^2} = 88 \text{ KN.m}$$

Para la sección C:

$$M_R = \sqrt{(4)^2 + (6.44)^2} = 7.60 \text{ KN.m}$$

Para la sección D:

$$M_R = \sqrt{(0)^2 + (0)^2} = 0 \text{ KN.m}$$

Diagrama de Momento torsor T – X

En la figura 23, se muestra el diagrama de cargas que actúan en el eje “y”, bajo un comportamiento de momento torsionante, con un valor constante de 1.43 KN.m. Debido a que el horno pirolítico tiene una velocidad de rotación constante.

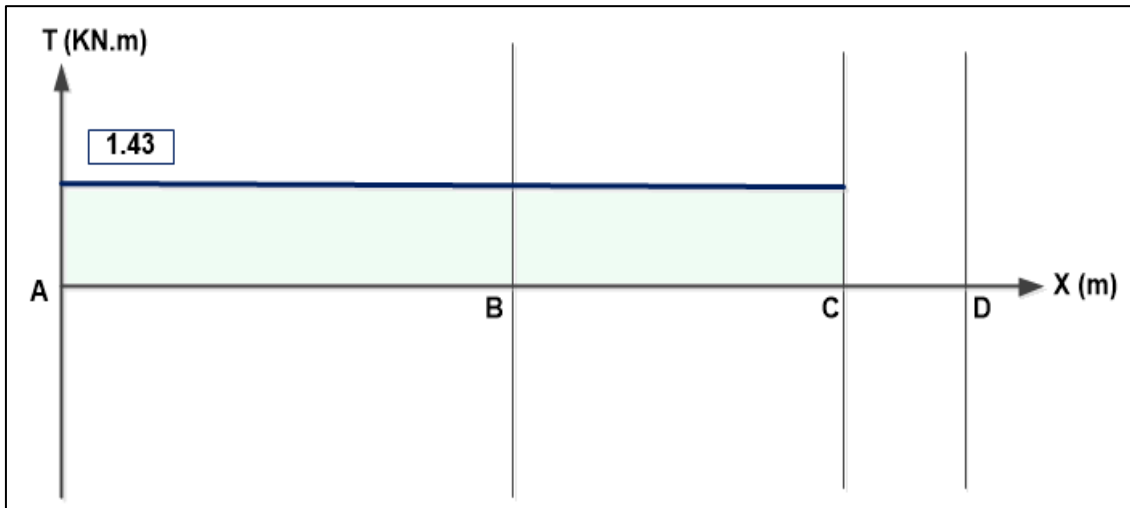


Figura 23: Diagrama de Momento torsor T – X
Fuente: Elaborado por los autores

El análisis de los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante, nos indican que la sección crítica del eje, se encuentra en “B”. Dónde el momento flexionante máximo y el torque serían:

Momento Flexionante: 88 KN.m

Momento Torsor: 1.43 KN.m

Esfuerzo flexionante:

$$\sigma_f = \frac{M_R * C}{I} \left\{ \begin{array}{l} C = \frac{d}{2} \\ I = \frac{\pi * d^4}{64} \end{array} \right\}$$

Dónde, I: es el momento de inercia respecto a un eje cilíndrico y C: es el radio.

Reduciendo, el momento flexionante sería:

$$\sigma_f = \frac{M_R * \frac{d}{2}}{\frac{\pi * d^4}{64}} = \frac{64 * M_R * d}{2 * \pi * d^4} = \frac{32 * M_R}{\pi * d^3}$$

Reemplazando:

$$\sigma_f = \frac{32 * 88000}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_f = \frac{896360.64}{d^3}$$

Esfuerzo torsor:

$$\tau_T = \frac{T * C}{J} \left\{ \begin{array}{l} C = \frac{d_{ext}}{2} \\ J = \frac{\pi * d^4}{32} \end{array} \right\}$$

Dónde, J: es el momento polar respecto a un eje cilíndrico y C: es el radio.

Reduciendo, el momento torsor sería:

$$\tau_T = \frac{T * \frac{d}{2}}{\frac{\pi * d^4}{32}} = \frac{32 * T * d}{2 * \pi * d^4} = \frac{16 * T}{\pi * d^3} = \frac{16 * 1430}{\pi * d^3} = \frac{7283}{d^3}$$

Tenemos:

$$\tau_T = \frac{7283}{d^3}$$

$$\sigma_f = \frac{896360.64}{d^3}$$

Esfuerzo máximo (Diagrama de Mohr)

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\left(\frac{896360.64}{d^3}\right)}{2} + \sqrt{\left(\frac{\left(\frac{896360.64}{d^3}\right)}{2}\right)^2 + \left(\frac{7283}{d^3}\right)^2} = \frac{896419.811}{d^3}$$

Material del eje de transmisi3n:

En la tabla 17, se considera como material del eje de transmisi3n al acero AISI 1050CD como el material m1s com1n en la industria. En la siguiente tabla, podemos indicar que el esfuerzo a la fluencia del AISI 1050CD, es de: $S_y=807$ Mpa.

Tabla 17: Caracter1sticas del AISI 1050

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|-------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------|-------------------------|----------------|
| AISI n1m. | Tratamiento | Temperatura °C (°F) | Resistencia a la tensi3n MPa (kpsi) | Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi) | Elongaci3n, % | Reducci3n en el 1rea, % | Dureza Brinell |
| 1030 | TyR* | 205 (400) | 848 (123) | 648 (94) | 17 | 47 | 495 |
| | TyR* | 315 (600) | 800 (116) | 621 (90) | 19 | 53 | 401 |
| | TyR* | 425 (800) | 731 (106) | 579 (84) | 23 | 60 | 302 |
| | TyR* | 540 (1 000) | 669 (97) | 517 (75) | 28 | 65 | 255 |
| | TyR* | 650 (1 200) | 586 (85) | 441 (64) | 32 | 70 | 207 |
| | Normalizado | 925 (1 700) | 521 (75) | 345 (50) | 32 | 61 | 149 |
| | Recocido | 870 (1 600) | 430 (62) | 317 (46) | 35 | 64 | 137 |
| 1040 | TyR | 205 (400) | 779 (113) | 593 (86) | 19 | 48 | 262 |
| | TyR | 425 (800) | 758 (110) | 552 (80) | 21 | 54 | 241 |
| | TyR | 650 (1 200) | 634 (92) | 434 (63) | 29 | 65 | 192 |
| | Normalizado | 900 (1 650) | 590 (86) | 374 (54) | 28 | 55 | 170 |
| | Recocido | 790 (1 450) | 519 (75) | 353 (51) | 30 | 57 | 149 |
| 1050 | TyR* | 205 (400) | 1 120 (163) | 807 (117) | 9 | 27 | 514 |
| | TyR* | 425 (800) | 1 090 (158) | 793 (115) | 13 | 36 | 444 |
| | TyR* | 650 (1 200) | 717 (104) | 538 (78) | 28 | 65 | 235 |
| | Normalizado | 900 (1 650) | 748 (108) | 427 (62) | 20 | 39 | 217 |
| | Recocido | 790 (1 450) | 636 (92) | 365 (53) | 24 | 40 | 187 |

Fuente: Tabla extra3da del libro de ingenier3a de dise1o Shigley (2018).

Factor de seguridad:

Debido a que el material AISI 1050, es un material conocido y utilizado en la industria, el cual es sometido a cargas y esfuerzos calculables, el factor de seguridad, estar1 en el rango de 2 a 2.5, para el caso de nuestro c1lculo se

efectuará con el valor de 2.

Diámetro del eje de transmisión:

$$FS = \frac{Sy}{\sigma_{\text{máx}}}$$

$$2 = \frac{807 * 10^6}{\frac{896419.811}{d^3}}$$

$$d \approx 130 \text{ mm}$$

g) Selección de rodamientos:

Rodamiento en el punto "A"

$$(F_r)_{\text{total}} = \sqrt{F_y^2 + F_z^2}$$

$$(F_r)_{\text{total}} = \sqrt{(0.92)^2 + (25.10)^2}$$

$$(F_r)_{\text{total}} = 25.12 \text{ KN}$$

Fuerza axial: (Este rodamiento no está afectado por la fuerza axial en el eje)

No existen cargas axiales

$$F_a = 0$$

Tenemos;

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow \frac{0}{64.13 \text{ KN}} \leq e \rightarrow 0 \leq e \Rightarrow P = F_r \Rightarrow P = 25.12 \text{ KN}$$

Podemos indicar que la carga dinámica equivalente es: $P = 25.12 \text{ KN}$

En la tabla 18, de rodamientos SKF, se espera tener una vida nominal entre 20000 a 30000 horas, para el análisis consideraremos la vida nominal máxima de: $L_{10h} = 30000$ horas.

Tabla 18: Vida nominal para rodamientos SKF

| Valores orientativos de la vida útil especificada de los diferentes tipos de máquinas | |
|--|---|
| Tipo de máquina | Vida útil especificada Horas de funcionamiento |
| Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico | 300 ... 3 000 |
| Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción | 3 000 ... 8 000 |
| Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc. | 8 000 ... 12 000 |
| Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias | 10 000 ... 25 000 |
| Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras | 20 000 ... 30 000 |
| Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil | 40 000 ... 50 000 |
| Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador | 30 000 ... 100 000 |
| Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar | 60 000 ... 100 000 |
| Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar | > 100 000 |

Fuente: Ficha técnica de rodamientos SKF, 2020.

Para un rodamiento, el cálculo de la duración de vida se determina, según la ecuación:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} * \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Despejando la carga dinámica “C”:

$$C = P * \sqrt[p]{\frac{60 * L_{10h} * n_{eje}}{10^6}}$$

Datos:

$$P = 25.12 \text{ KN}$$

$$L_{10h} = 30000 \text{ horas}$$

$$n_{\text{eje}} = 10 \text{ rpm}$$

p:3 (Rodamientos rígidos de bolas)

Reemplazando:

$$C = 25.12 \text{ KN} * \sqrt[3]{\frac{60 * 30000 \text{ horas} * 10 \text{ rpm}}{10^6}}$$

$$C = 65.81 \text{ KN}$$

En la tabla 19, por lo consiguiente, seleccionamos del catálogo SKF, el rodamiento rígido de bolas, con designación 61932, con una carga dinámica $C = 92.30 \text{ KN}$ (Valor superior a 65.81 KN)

Tabla 19: Parámetros de rodamientos SKF 61932

| Dimensiones principales | | | Capacidad de carga básica | | Carga límite de fatiga | Velocidades nominales | | Masa | Designación |
|-------------------------|-----|-----|---------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|------------------|--------|-------------|
| d | D | B | C | C ₀ | P _u | Velocidad de referencia | Velocidad límite | | |
| mm | | | kN | | kN | r. p. m. | | kg | - |
| 150 | 190 | 20 | 48,8 | 61 | 1,96 | 6 700 | 4 300 | 1,2 | 61830 |
| | 210 | 28 | 88,4 | 93 | 2,9 | 6 300 | 5 300 | 3,05 | 61930 MA |
| | 225 | 24 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 3 800 | 3,15 | 16030 |
| | 225 | 35 | 125 | 125 | 3,9 | 6 000 | 3 800 | 4,3 | 6030 |
| | 270 | 45 | 174 | 166 | 4,9 | 5 000 | 3 200 | 10 | 6230 |
| | 320 | 65 | 276 | 285 | 7,8 | 4 300 | 2 800 | 23 | 6330 |
| | 320 | 65 | 276 | 285 | 7,8 | 4 300 | 4 000 | 26 | 6330 M |
| 160 | 200 | 20 | 49,4 | 64 | 2 | 6 300 | 4 000 | 1,25 | 61832 |
| | 220 | 28 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 3 800 | 2,7 | 61932 |
| | 220 | 28 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 5 000 | 3,2 | 61932 MA |
| | 240 | 25 | 99,5 | 108 | 3,25 | 5 600 | 3 600 | 3,65 | 16032 |
| | 240 | 38 | 143 | 143 | 4,3 | 5 600 | 3 600 | 5,2 | 6032 |
| | 290 | 48 | 186 | 186 | 5,3 | 4 500 | 3 000 | 13 | 6232 |
| | 340 | 68 | 276 | 285 | 7,65 | 4 000 | 2 600 | 26 | 6332 |
| 340 | 68 | 276 | 285 | 7,65 | 4 000 | 3 800 | 30,5 | 6332 M | |
| 170 | 215 | 22 | 61,8 | 78 | 2,4 | 6 000 | 3 600 | 1,65 | 61834 |
| | 230 | 28 | 93,6 | 106 | 3,15 | 5 600 | 4 800 | 3,4 | 61934 MA |
| | 260 | 28 | 119 | 129 | 3,75 | 5 300 | 3 200 | 5 | 16034 |
| | 260 | 42 | 168 | 173 | 5 | 5 300 | 3 200 | 7 | 6034 |
| | 260 | 42 | 168 | 173 | 5 | 5 300 | 4 300 | 8,15 | 6034 M |
| | 310 | 52 | 212 | 224 | 6,1 | 4 300 | 2 800 | 16 | 6234 |
| | 310 | 52 | 212 | 224 | 6,1 | 4 300 | 3 800 | 18 | 6234 M |
| 360 | 72 | 312 | 340 | 8,8 | 3 800 | 2 400 | 31 | 6334 | |
| 360 | 72 | 312 | 340 | 8,8 | 3 800 | 3 400 | 36 | 6334 M | |
| 180 | 225 | 22 | 62,4 | 81,5 | 2,45 | 5 600 | 3 400 | 1,75 | 61836 |
| | 250 | 33 | 119 | 134 | 3,9 | 5 300 | 3 200 | 5 | 61936 |
| | 250 | 33 | 119 | 134 | 3,9 | 5 300 | 4 300 | 5 | 61936 MA |
| | 280 | 31 | 138 | 146 | 4,15 | 4 800 | 3 000 | 6,5 | 16036 |
| | 280 | 46 | 190 | 200 | 5,6 | 4 800 | 3 000 | 9,1 | 6036 |
| | 280 | 46 | 190 | 200 | 5,6 | 4 800 | 4 000 | 10,5 | 6036 M |

Fuente: Ficha técnica de rodamientos SKF, 2020.

Rodamiento en el punto "D"

$$(F_R)_{\text{total}} = \sqrt{F_y^2 + F_z^2}$$

$$(F_R)_{\text{total}} = \sqrt{(32.80)^2 + (19.51)^2}$$

$$(F_R)_{\text{total}} = 38.20 \text{ KN}$$

Fuerza axial:

No existen cargas axiales

$$F_a = 4 \text{ KN}$$

Tenemos;

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow \frac{4\text{KN}}{38.20\text{ KN}} \leq e \rightarrow 0.10 \leq e(0.26) \Rightarrow P = F_r \Rightarrow P = 38.20\text{ KN}$$

Podemos indicar que la carga dinámica equivalente es: $P = 38.20\text{ KN}$

En rodamientos SKF, para un Tornillo sin fin, se espera tener una vida nominal entre 20000 a 30000 horas, para el análisis consideraremos la vida nominal máxima de: $L_{10h} = 30000$ horas.

Para un rodamiento, el cálculo de la duración de vida se determina, según la ecuación:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} * \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Despejando la carga dinámica "C":

$$C = P * \sqrt[p]{\frac{60 * L_{10h} * n_{eje}}{10^6}}$$

Datos:

$$P = 38.20\text{ KN}$$

$$L_{10h} = 30000\text{ horas}$$

$$n_{eje} = 10\text{ rpm}$$

$p:3$ (Rodamientos rígidos de bolas)

Reemplazando:

$$C = 38.20\text{ KN} * \sqrt[3]{\frac{60 * 30000\text{ horas} * 10\text{ rpm}}{10^6}}$$

$$C = 100.11\text{ KN}$$

De la tabla 20, seleccionamos del catálogo SKF, el rodamiento rígido de bolas, con designación 6032, con una carga dinámica $C = 143\text{ KN}$ (Valor superior a 100.11 KN)

Tabla 20: Parámetros de rodamientos SKF 6032

| Dimensiones principales | | | Capacidad de carga básica | | Carga límite de fatiga | Velocidades nominales | | Masa | Designación |
|-------------------------|------------|-----|---------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|------------------|-------|-------------|
| d | D | B | C | C ₀ | P _u | Velocidad de referencia | Velocidad límite | | |
| mm | | | kN | | kN | r. p. m. | | kg | - |
| 150 | 190 | 20 | 48,8 | 61 | 1,96 | 6 700 | 4 300 | 1,2 | 61830 |
| | 210 | 28 | 88,4 | 93 | 2,9 | 6 300 | 5 300 | 3,05 | 61930 MA |
| | 225 | 24 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 3 800 | 3,15 | 16030 |
| | 225 | 35 | 125 | 125 | 3,9 | 6 000 | 3 800 | 4,3 | 6030 |
| | 270 | 45 | 174 | 166 | 4,9 | 5 000 | 3 200 | 10 | 6230 |
| | 320 | 65 | 276 | 285 | 7,8 | 4 300 | 2 800 | 23 | 6330 |
| | 320 | 65 | 276 | 285 | 7,8 | 4 300 | 4 000 | 26 | 6330 M |
| 160 | 200 | 20 | 49,4 | 64 | 2 | 6 300 | 4 000 | 1,25 | 61832 |
| | 220 | 28 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 3 800 | 2,7 | 61932 |
| | 220 | 28 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 5 000 | 3,2 | 61932 MA |
| | 240 | 25 | 99,5 | 108 | 3,25 | 5 600 | 3 600 | 3,65 | 16032 |
| | 240 | 38 | 143 | 143 | 4,3 | 5 600 | 3 600 | 5,2 | 6032 |
| | 290 | 48 | 186 | 186 | 5,3 | 4 500 | 3 000 | 13 | 6232 |
| | 340 | 68 | 276 | 285 | 7,65 | 4 000 | 2 600 | 26 | 6332 |
| | 340 | 68 | 276 | 285 | 7,65 | 4 000 | 3 800 | 30,5 | 6332 M |
| 170 | 215 | 22 | 61,8 | 78 | 2,4 | 6 000 | 3 600 | 1,65 | 61834 |
| | 230 | 28 | 93,6 | 106 | 3,15 | 5 600 | 4 800 | 3,4 | 61934 MA |
| | 260 | 28 | 119 | 129 | 3,75 | 5 300 | 3 200 | 5 | 16034 |
| | 260 | 42 | 168 | 173 | 5 | 5 300 | 3 200 | 7 | 6034 |
| | 260 | 42 | 168 | 173 | 5 | 5 300 | 4 300 | 8,15 | 6034 M |
| | 310 | 52 | 212 | 224 | 6,1 | 4 300 | 2 800 | 16 | 6234 |
| | 310 | 52 | 212 | 224 | 6,1 | 4 300 | 3 800 | 18 | 6234 M |
| | 360 | 72 | 312 | 340 | 8,8 | 3 800 | 2 400 | 31 | 6334 |
| | 360 | 72 | 312 | 340 | 8,8 | 3 800 | 3 400 | 36 | 6334 M |
| | 180 | 225 | 22 | 62,4 | 81,5 | 2,45 | 5 600 | 3 400 | 1,75 |
| 250 | | 33 | 119 | 134 | 3,9 | 5 300 | 3 200 | 5 | 61936 |
| 250 | | 33 | 119 | 134 | 3,9 | 5 300 | 4 300 | 5 | 61936 MA |
| 280 | | 31 | 138 | 146 | 4,15 | 4 800 | 3 000 | 6,5 | 16036 |
| 280 | | 46 | 190 | 200 | 5,6 | 4 800 | 3 000 | 9,1 | 6036 |
| 280 | | 46 | 190 | 200 | 5,6 | 4 800 | 4 000 | 10,5 | 6036 M |

Fuente: Ficha técnica de rodamientos SKF, 2020.

En la tabla 21, se muestran los resultados principales de los componentes del horno pirolítico

Tabla 21. Resultados principales de los componentes del horno pirolítico

| Parámetro | Valor/designación | Unidad | |
|---|------------------------------|---------------------|-------|
| Potencia de quemadores del horno pirolítico | 1000 | W | |
| Cantidad de quemadores | 4 | - | |
| Material del horno pirolítico | Q235 | - | |
| Límite elástico del material del horno pirolítico | 235 | MPa | |
| Espesor de pared el horno pirolítico | 2 | pulg. | |
| Tornillo sin fin | Velocidad de avance | 0.15 | m/s |
| | Radio de hélice | 145 | mm |
| | Longitud | 2950 | mm |
| | Velocidad de rotación | 10 | rpm |
| Motorreductor para transporte de sólidos | 1.75 (900) | KW (rpm) | |
| Espesor de aislante algodón cerámico | 90 | mm | |
| Espesor de plancha de estructuras ASTM A36 | 2 | pulgada | |
| Dientes de rueda dentada ASTM A36 | N1=280, N2=10 | dientes | |
| Motorreductor de sistema de transmisión | 1.5 (1740) | KW (rpm) | |
| Fajas | Sección | A | - |
| | Ancho | 0.5 | pulg. |
| | Espesor | 11/32 | pulg. |
| | Diámetro de polea mayor | 3 | pulg. |
| | Diámetro de polea menor | 6.60 | pulg. |
| | Cantidad | 4 | - |
| Rodamiento | Vida estimada de rodamientos | 30000 | horas |
| | Rodamientos rígidos de bolas | SKF61932 SKF6032 | - |

Fuente: Elaborado por los autores

4.4. PRESUPUESTO DEL HORNO PIROLÍTICO Y BENEFICIO COSTO.

a) Beneficio económico neto:

El beneficio económico neto, se fundamenta en la utilidad adquirida por la producción de hidrógeno mediante la pirólisis de residuos sólidos, dependiendo del flujo volumétrico producido y su costo unitarios.

$$B_n = \dot{m}_H * P_{uH} * T_{ft}$$

Donde:

B_n : Beneficio económico neto (\$/año)

\dot{m}_H : Es el flujo másico de hidrógeno, $\dot{m}_h = 0.151 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 543.60 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$

P_{uH} : Precio unitario del hidrógeno, $P_{uH} = 3 \frac{\$}{\text{Kg}}$

T_{ft} : Tiempo de operación anual, $T_{ft} = 8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}$

$$B_n = 543.60 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} * 3 \frac{\$}{\text{kg}} * 8760 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 14\,285\,808.00 \frac{\$}{\text{año}}$$

b) Costos en combustible para calentamiento pirolítico:

Para el proceso térmico pirolítico, en el calentamiento de los residuos sólidos urbanos, se empleará una determinada cantidad de hidrógeno. Tenemos:

$$C_{cp} = \dot{V}_{gc} * P_{uH} * T_{ft}$$

C_{cp} : Costos en combustible para el proceso pirolítico (\$/año)

\dot{V}_{gc} : Flujo volumétrico de hidrógeno consumido por los quemadores en el reactor

$$8.34 * 10^{-6} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 0.030024 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

P_{uH} : Precio unitario del hidrógeno, $P_{uH} = 3 \frac{\$}{\text{Kg}}$

T_{ft} : Tiempo de trabajo o funcionamiento del reactor $T_{ft} = 8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}$

$$C_{cp} = 0.030024 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 3 \frac{\$}{\text{kg}} * 8760 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 789.03072 \frac{\$}{\text{año}}$$

c) Beneficio útil:

$$B_u = B_n - C_{cp}$$

Donde:

B_u : Beneficio útil del reactor (\$/año)

B_n : Beneficio económico neto (\$/año)

C_{cp} : Costos en combustible para el proceso pirolítico (\$/año)

Tenemos:

$$B_u = 14\,285\,808.00 \frac{\$}{\text{año}} - 789.03072 \frac{\$}{\text{año}} = 14\,285\,018.97 \frac{\$}{\text{año}}$$

d) Inversión en activos fijos:

El presente informe de investigación, para el diseño del reactor pirolítico, en la tabla 22, se detallan los costos de materiales y equipos, los cuales son valores promedios en referencia al mercado local, regional y nacional.

Tabla 22. Inversión en activos fijos del proyecto

| Equipo/Material | Cantidad | Costo unitario (\$) | Costo total (\$) |
|--|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| <i>Horno pirolítico de acero Q235, L=5m, D=2.2 m, e= 50.8mm, V=73.45 m³, 1775 Kg/h de residuos sólidos, 0.121 m³/s de hidrógeno.</i> | 1 | 80000.00 | 80000.00 |
| <i>Quemador a gas BTG-3, 1000 W, A=250mm, B=242 mm, C=330 mm</i> | 4 | 15000.00 | 60000.00 |
| <i>Tornillo sin fin Q235, m=1775 Kg/h, V=0.15 m/s, r(hélice)=0.145 m, d=50 mm, n=10rpm, p=305 mm.</i> | 1 | 20000.00 | 20000.00 |
| <i>Motorreductor axial para transporte de residuos sólidos, P=1.75KW, n1=900 rpm, n2=10 rpm, T=1.65 KN.m, i=60, 8 polos.</i> | 1 | 12500.00 | 12500.00 |
| <i>Aislamiento térmico de algodón cerámico, D1=2.02 m, D2=2.2</i> | 1 | 9700.00 | 9700.00 |

| | | | |
|--|----|----------|----------|
| m, $K=0.035 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$, $Q=1000\text{W}$, $T_1=600^{\circ}\text{C}$, $T_2=50^{\circ}\text{C}$, $e=90\text{mm}$ | | | |
| Motorreductor coaxial sistema de transmisión, $P=1.5\text{KW}$, $n_1=1740 \text{ rpm}$, $n_2=21.90 \text{ rpm}$ | 1 | 8300.00 | 8300.00 |
| Fajas en V, $n_1=21.90 \text{ rpm}$, $n_2=10$, 5 fajas, $d_1=3\text{pulg}$, $d_2=6.6 \text{ pulg}$, $L=42 \text{ pulg}$, $C=14 \text{ pulg}$, | 1 | 5200.00 | 5200.00 |
| Rueda dentada, ASTM A-36, $N_1=280$, $N_2=10$ | 1 | 3550.00 | 3550.00 |
| Eje de transmisión para movimiento de rueda dentada, AISI 1050 CD Tratado y revenido, $S_y=807\text{MPa}$, $d=130 \text{ mm}$ | 1 | 2540.00 | 2540.00 |
| Rodamientos SKF, $L_{10h}=30000$ horas 61932 | 2 | 600.00 | 1200.00 |
| Rodamientos SKF, $L_{10h}=30000$ horas 6032 | 2 | 650.00 | 1300.00 |
| Plancha ASTM A36, $L=2.44 \text{ m}$, $A=6 \text{ m}$, $e=50\text{mm}$, para construcción de tolva, soportes estructurales, paredes del hogar de combustión del horno pirolítico. | 30 | 425.00 | 12750.00 |
| Válvula de control de sólidos residuales de 1775 Kg/h. | 1 | 1500.00 | 1500.00 |
| Válvula de control de combustible hidrógeno, $0.121 \text{ m}^3/\text{s}$ | 1 | 1200.00 | 1200.00 |
| Sistema de transporte de residuos hacia tolva, faja transportadora de $H=4\text{m}$, $A=1\text{m}$, con motor de accionamiento de 1HP. | 1 | 18000.00 | 18000.00 |
| Tuberías de acero inoxidable 304, $d=4 \text{ in}$ de transporte de gas, $V=0.303 \text{ m}^3/\text{s}$ | 10 | 635.00 | 6350.00 |
| Sistema de enfriamiento (Torre) para separación de $V=435.6 \text{ m}^3/\text{h}$ de hidrógeno. Potencia de 1.5 Kw | 1 | 17220.00 | 17220.00 |
| Válvula de control de gas $V=0.303 \text{ m}^3/\text{s}$, $d=2 \text{ in}$. | 1 | 1900.00 | 1900.00 |
| Tanque de almacenamiento de hidrógeno de material acero Q235, $D=0.5 \text{ m}$, $L=2$. $V=26180 \text{ m}^3/\text{día}$. | 3 | 6880.00 | 20640.00 |

| | | | |
|---|---|-----------|------------------|
| <i>Mano de obra</i> | 1 | 125000.00 | 125000.00 |
| <i>Gastos operativos, transporte, y otros accesorios.</i> | 1 | 10000.00 | 10000.00 |
| Inversión Total | | | 418850.00 |

Fuente: Elaborado por los autores

Como para este proyecto se recomienda tener 20 hornos la inversión total sería de $20 \times 418\,850.00 = 8\,377\,000.00$ \$

e) Retorno operacional de la inversión:

El ROI es el periodo de recuperación de la inversión en el diseño del reactor pirolítico.

$$R. O. I = \frac{I_A}{B_u}$$

Donde:

R. O. I: Retorno operacional de la inversión (años)

I_A : Inversión en activos fijos (\$)

B_u : Beneficio útil (\$/año)

Sustituyendo:

$$R. O. I = \frac{8\,377\,000.00 \text{ \$}}{14\,285\,018.97 \frac{\text{\$}}{\text{año}}} = 0.6 \text{ años} \approx 7 \text{ meses}$$

El proyecto tiene un periodo de recuperación de la inversión de 7 meses, lo cual es viable económicamente para el diseño del reactor pirolítico.

f) Herramientas financieras:

En la tabla 23, observamos los resultados del análisis financiero, realizado en una hoja de cálculo de Excel. Asimismo, este análisis se realizó con una tasa de interés del 11% y un periodo de 5 años, datos promedios en las entidades bancarias del Perú, según la Superintendencia de Bancos y Seguros (SBS). Determinando que el proyecto es viable financieramente con un TIR del 51% y un VAN de \$ 16,675,510.35.

Tabla 23. Valores del VAN y TIR del proyecto

| Años | Flujo de Fondos | Movimientos en el Periodo – Año |
|-------------|-------------------------|--|
| Inversión | -\$14,285,018.97 | Costo Inicial del Proyecto |
| 1 | \$8,377,000.00 | Beneficios Netos anuales |
| 2 | \$8,377,000.00 | Beneficios Netos anuales |
| 3 | \$8,377,000.00 | Beneficios Netos anuales |
| 4 | \$8,377,000.00 | Beneficios Netos anuales |

| | | |
|------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 5 | \$8,377,000.00 | Beneficios Netos anuales |
| Total, Ingresos | \$41,885,000.00 | |
| Tasa de Interés: | 11.00% | |
| TIR | 51% | Tasa interna de Retorno |
| VAN | \$ 16,675,510.35 | Valor Actual Neto |

Fuente: Elaborado por los autores.

V. DISCUSIÓN

- Se realizó un diagnóstico de la situación actual de la generación de residuos sólidos en la ciudad de Chiclayo, para determinar su variabilidad en el tiempo y de esta manera poder diseñar un horno pirolítico que cumpla eficientemente su tratamiento termoquímico del flujo másico de residuos sólidos. Para lo cual fue necesario la recolección de datos, respecto a la generación de residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo, durante los últimos 10 años (2013-2022), debido a que la población está creciendo a un ritmo de 1.4% por cada año (INEI, 2022), lo cual es proporcional a la cantidad de residuos sólidos. Para esto se hizo la recolección de información de la cantidad de residuos sólidos de la Ciudad de Chiclayo, que fueron extraídos de la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos de la Municipalidad de Chiclayo, también del Instituto Nacional de Estadística e Informática y del Sistema Nacional de Información Ambiental, lo cual nos permitió explicar que mientras aumenta la población, incrementan progresivamente la cantidad de residuos sólidos por cada día en la provincia de Chiclayo. Obteniendo como resultado que en 10 años (2013-2022) la cantidad de masa de residuos sólidos en la provincia de Chiclayo incrementará en un 46%. Este resultado tiene una similitud con la investigación del Lic. Dulanto Tello que en su tesis “Asignación de competencias en materia de residuos sólidos de ámbito municipal y sus impactos en el medio ambiente” menciona que en las ciudades en nuestro país existe una tendencia al incremento de la cantidad de residuos sólidos. Teniendo en cuenta también, el desarrollo económico de nuestra ciudad de Chiclayo que según el autor Chávez Huaranca en su tesis “La gestión integral de los residuos sólidos en los gobiernos locales y su regulación jurídica” menciona que el incremento poblacional y el crecimiento económico tienen como resultado mayor consumo, lo cual genera mayor producción de residuos sólidos. Asimismo, tiene similitud con el investigador Batta (2023), porque mediante un diagnóstico de los sólidos

residuales generados en la provincia de Chiclayo se proyectó un flujo másico de 24 262 Kg/h a 35 499 Kg/h en 10 años (2022 – 2032), debido a que la población está creciendo por cada año, lo cual es proporcional a la cantidad de residuos sólidos. De esta manera, existe similitud, con Batta, porque un horno pirolítico debe ser diseñado teniendo como consideración, que la capacidad de residuos sólidos es variable en el tiempo y va en aumento, y su proyección permite cumplir con la demanda de residuos sólidos a tratar térmicamente para la producción de biocombustibles. Además, la investigación tiene similitud con el investigador Gosgot (2021), debido a que la población de la provincia de Chiclayo tiene una tasa de crecimiento de 1.4% por cada año, siendo proporcional a la cantidad de residuos sólidos y un ratio de 0.742 Kg/día/hab. Donde la tasa de crecimiento de la población y el ratio de residuos sólidos son proporcionales directos. Por lo consiguiente el autor Gosgot, al tener una menor tasa de crecimiento poblacional, obtuvo una menor ratio de sólidos, en comparación semejante a los resultados del presente estudio.

- Para determinar los parámetros de diseño del horno pirolítico se realizó una tabla de iteraciones, teniendo en cuenta el volumen de residuos sólidos, el diámetro y longitud del horno pirolítico, el flujo másico de residuos sólidos, velocidad y temperatura de calentamiento, flujo volumétrico del gas y el flujo volumétrico del hidrógeno, los resultados del proceso de iteración, para determinar el diámetro y longitud adecuadas para el horno pirolítico, determinaron que la longitud del horno sería 5 metros con un diámetro de 2.2 metros, que en comparación con los diseñadores de hornos pirolíticos han determinado que el diámetro es 44% la longitud del reactor, con fines de un diseño ergonómico y eficiente. Estando nuestros resultados dentro del margen indicado. Nuestros resultados obtenidos se consideran viables, porque comparándolas con la norma UNE-EN 10207:2018, que establece que cuando las longitudes son mayores a 5.8 metros, el acero tiene un comportamiento significativo respecto a la dilatación térmica, y en este estudio la temperatura máxima en el horno será de 600°C, existiendo problemas de dilatación si se consideran longitudes superiores a 5 metros,

por lo cual se necesitaran 20 hornos de esas dimensiones para cumplir con toda la demanda de la provincia de Chiclayo, por consecuencia nuestra investigación tiene similitud con el investigador Seonho (2022), respecto a la decisión de repartir el flujo másico de sólidos, ya que en este estudio para poder tratar la cantidad de residuos sólidos que genera la ciudad de Chiclayo se necesitarían 20 hornos con una capacidad de producción unitaria de 1775 Kg/h, para producir 1366.56 Kg/h de gases, con un porcentaje de transformación de 76%. Cabe precisar que el flujo másico de sólidos residuales es menor por cada horno debido a que la longitud y diámetro son 3.40 m y 1.65 m respectivamente, a comparación de nuestro estudio, siguiendo una longitud para el horno de 5 m y un diámetro de 2.2 m. Por lo tanto, se coincide con el autor de este antecedente, porque no se pueden diseñar hornos de grandes magnitudes, debido al difícil mantenimiento, operatividad y a la exposición de la dilatación térmica, ya que se trabaja con temperaturas del alrededor de 600°C, en el proceso térmico de descomposición de la materia. Respecto a la producción de hidrógeno este debe realizarse de manera rápida, aplicando el proceso de pirólisis flash, porque a mayor velocidad de calentamiento, se obtiene mayor producción de gas, del cual queremos extraer el hidrógeno. Por lo consiguiente, el proceso de pirólisis debe ser rápido, seleccionando una temperatura de 600°C, con una velocidad de 30°C/min. el porcentaje de carbón producido sería el 23% del flujo de residuos sólidos, y el porcentaje de hidrógeno que se obtendría sería el 40% del flujo volumétrico de gas. Cabe precisar que a mayor temperatura se obtiene hidrógeno de mayor calidad, pero con una fracción porcentual menor. De la misma manera la investigación tiene similitud con el investigador Rosha (2022), porque para producir hidrógeno, este debe realizarse de manera rápida, aplicando el proceso de pirólisis flash. Por lo consiguiente, el proceso de pirólisis debe ser rápido, seleccionando una temperatura de 600°C, con una velocidad de 30°C/min. No se consideró una temperatura mayor a la indicada, para evitar problemas de dilatación térmica y elevando los costos de fabricación de los materiales del horno pirolítico.

- Respecto a la selección del material del horno pirolítico, debido a las altas temperaturas para la descomposición térmica de los residuos sólidos. Donde la temperatura máxima es 600°C, fue importante la selección correcta del tipo de material del cuerpo del horno pirolítico. Donde el dimensionamiento y selección del material del horno pirolítico se fundamentó según lo dispuesto en el Código ASME Sección VII – División N°1. Obteniendo que para hornos pirolíticos el acero al carbono empleado deber ser Q235, el cual tiene un buen comportamiento en caliente y tiene alta resistencia a la dilatación térmica, garantizando un factor de seguridad de 9.7, el cual es superior a 3 según lo recomendado por las normas de diseño ASME (American Society of Mechanical Engineers), AISI (American Iron and Steel Institute) y ASTM (American Society for Testing and Materials). Que según el fabricante Chun-Kang el acero estructural Q235 básicamente es utilizado en la construcción de hornos, calderas, barcos y puentes por su gran resistencia a la dilatación térmica, resistencia a la tracción, cuyo valor de rendimiento de este material se encuentra alrededor de 235 Mpa, de esta manera nuestra investigación tiene similitud con lo expuesto por el autor. También en lo que implica la selección de los equipos y materiales del horno, se tuvo como consideraciones: El horno pirolítico debe ser capaz de procesar 1775 Kg de residuos sólidos por hora, y el elemento encargado de transportar los residuos sólidos hacia el horno pirolítico es un tornillo sin fin, el cual es accionado por un motor eléctrico. El tornillo sin fin, tendrá una velocidad tangencial de 0.15 m/s, y un radio de hélice de 145 m y diámetro de eje de 50 mm, para un buen manejo de los residuos, para poder procesar 1775 Kg/h de sólidos residuales. El aislante térmico fue de algodón cerámico material refractario debido a su excelente conductividad térmica, el cual se ubicará en el interior del cuerpo del horno pirolítico.
- En lo que, respecta al presupuesto económico, se consideraron valores promedios para los activos fijos, según el mercado nacional, regional y local, considerando el precio por kilogramos de 3 dólares, según los estudios consultados como antecedentes en esta investigación y al realizar un estudio económico y financiero para la viabilidad del estudio, esto en base

a los aportes de Torres (2021), quien explica que los indicadores económicos como el retorno operacional de la inversión (ROI), tasa interna de rentabilidad (TIR) y valor actual neto (VAN), permiten determinar si un proyecto es factible. Considerando esto, en el presente estudio, el proyecto para el diseño de un horno pirolítico de residuos sólidos para la obtención de hidrógeno es viable, con retorno operacional de la inversión de 7 meses, tasa interna de rentabilidad de 51 % y valor actual neto \$ 16,675,510.35. Donde el beneficio útil es 14 285 018.97 \$ y la inversión en activos fijos 8 377 000.00 \$/año. Donde los resultados de los análisis financieros, fueron efectuados en una hoja de cálculo de Excel. Asimismo, este análisis se realizó con una tasa de interés del 11% y un periodo de 5 años, datos promedios en las entidades bancarias del Perú, según la Superintendencia de Bancos y Seguros (SBS). Estos resultados son coincidentes con lo obtenido por Torres (2021), quien realizó un estudio para determinar la producción de biomasa residual pecuaria en el campus de la UNALM (Universidad Nacional Agraria La Molina) para evaluar su potencial de uso energético, encontrando un beneficio de 311891.28 soles. Con esto se evidencia, que el proyecto para el diseño del reactor pirolítico es factible tanto, económicamente y financieramente, para la ciudad de Chiclayo. Por lo tanto, nuestra investigación tiene similitud con el investigador Xun (2019) quien explicó que de los residuos sólidos se puede llegar a obtener entre el 25 a 40% de biogás, donde el precio actualmente del biogás tiene una gran demanda en el mercado con precios comprendidos entre 3 a 5 \$/Kg. En comparación a la presente investigación se encuentra una similitud, porque para el análisis de costos se consideró un costo unitario para el gas de 3 \$/Kg, para de esta manera poder calcular el beneficio y beneficio/costo.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Se determinó que la cantidad de sólidos residuales generados por la población de la provincia de Chiclayo, son en promedio 0.742 Kg/día/hab. Con una cantidad generada en el año 2022 de 582281.70 Kg/día, el cual incrementa a medida que también lo hace la población. Estimando una carga máxima de 851987.56 Kg/día para el año 2032, cuyo valor permitió diseñar un horno pirolítico eficiente productivamente de hidrógeno en el tiempo.
- 6.2. Se determinaron los parámetros de diseño del horno pirolítico, obteniendo un volumen de residuos sólidos de 1492 m³, diámetro del horno de 2.2 m, longitud del horno 5 m, capacidad de tratamiento de 1775 Kg/h, velocidad de calentamiento 30°C/min, temperatura de calentamiento 600°C, flujo másico de carbón vegetal de 408.24 Kg/h, flujo másico de gas 1366.56 Kg/h, flujo másico de hidrógeno 543.6 Kg/h.
- 6.3. Se realizaron los cálculos electromecánicos para dimensionar y seleccionar los principales componentes del horno pirolíticos, encontrando que para generar 543.6 Kg/h de hidrógeno se necesitan 4 quemadores de gas con una potencia total de 1000 W. Donde el horno pirolítico debe ser construido de material acero al carbono Q235 con espesor de 2 pulgadas. Asimismo, el tornillo sin fin debe tener una longitud de 2950 mm y diámetro de hélice de 290 mm. Para evitar pérdidas al medio ambiente se determinó que el mejor aislante es el algodón cerámico de espesor de 90 mm. Los motorreductores para el transporte de residuos sólidos y sistema de transmisión deben ser de potencia de 1.75 KW y 1.5 KW respectivamente, para que el horno pueda rotar a 10 rpm, permitiendo un eficiente tratamiento térmico.
- 6.4. El proyecto para el diseño de un horno pirolítico de residuos sólidos para la obtención de hidrógeno es viable, con retorno operacional de la inversión de 7 meses, tasa interna de rentabilidad de 51% y valor actual neto \$ 16,675,510.35. Donde el beneficio útil es 14 285 018.97 \$ y la inversión en activos fijos 8 377 000.00 \$/año.

VII. RECOMENDACIONES

- Según la investigación realizada en este informe, cuya proyección es de 10 años, se recomienda que para el año 2033 se debe contar con aproximadamente 20 hornos pirolíticos en toda la ciudad de Chiclayo y así poder realizar la quema total de los residuos sólidos, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional existente en dicha ciudad.
- Se recomienda elaborar un diseño correcto de un alimentador de gas, cumpliendo las normas de seguridad y así evitar futuros contratiempos y accidentes en la zona de trabajo.
- Tomar todas las medidas necesarias para un buen almacenamiento del gas obtenido, mediante tanques de almacenamiento externo o de manera subterránea según norma de almacenamiento de gases.
- Se recomienda que, por parte de los encargados de este proyecto, elaborar un plan de capacitación para el personal técnico, teniendo en cuenta las normas de seguridad tanto nacionales e internacionales, cuyo objetivo de esta capacitación sea el correcto manejo del horno pirolítico y la correcta acción en casos de accidentes.
- Se recomienda, tener acciones para un correcto control de los gases de escape y así poder evitar la contaminación ambiental.

REFERENCIAS

ACHIDA, H. Hirose, J. Hayashi, S. y Takasaki, Y. 2001, "Microbial hydrogen production from sweet potato starch residue".

ABUNDIO, Fernández Elizabeth. Brito flores Juan, Lanto Aguilera Karla, Rojas Vázquez Elisa. 2010. biocombustible. [En línea] 08 de noviembre de 2010. <https://biocombustibleuamiztapalapa.blogspot.com/2010/11/que-es-la-biomasa.html>.

ALVAREZ. 2005. Textos científicos. [En línea] 25 de NOVIEMBRE de 2005. <http://www.textoscientificos.com/energia/biomasa>.

ARNAU. 1998. Metodología de la investigación psicológica. [En línea] 1998. <https://psicologiaymente.com/miscelanea/diseno-de-investigacion>.
Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación

BATTA, N. 2023. Evaluación de los efectos del biocarbón en la producción de biogás durante la digestión anaeróbica del condensado acuoso de pirólisis: un enfoque de economía circular. Canadá: Revista de Agroproducción Sustentable, 2023. pág. 121.
ISSN: 1090-9820.

BIENIEK, A. 2023. Investigaciones numéricas de pirólisis de biomasa con oxidación parcial en un reactor de tubo de caída. Polonia: Revista de producción más limpia, 2023.

CÁRDENAS Suquillo, Andrés Darío. 2014. Diseño y simulación de un horno rotatorio para materiales celulósicos. Quito: s.n., 2014.

CÉLIZ, F. y Forneris, I. 2018. "Diseño de una planta de generación de carbón activado. 2018.

CEUPE. 2019. CEUPE magazine. [En línea] 2019. <https://www.ceupe.com/blog/que-es-la-pirólisis.html>.

CLARIN. 2018. Clarin. [En línea] 06 de diciembre de 2018. https://www.clarin.com/brandstudio/biomasa-fuente-energia-renovable-competitiva_0_3Bpy6yc6A.html.

CÓRDOBA, Departamento de Bioquímica y Biología Molecular de la Universidad de. 2019. canales sectoriales. canales sectoriales grandes cultivos. [En línea] 18 de 09 de 2019. <https://www.interempresas.net/Grandes-cultivos/Articulos/254570-Algas-y-bacterias-para-producir-biohidrogeno.html>.

DIMITRI, G. 2021. Estado actual del mecanismo de pirólisis y gasificación de la biomasa. Revista MDPI. <https://doi.org/10.3390/en14227541>

DUFOUR, Javier. 2006. Blogs Madrid. madrimasd.org. [En línea] 20 de octubre de

2006. <https://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2006/10/20/47199>.

FERNANDEZ, Muerza Alex. 2008. consumer. [En línea] 6 de marzo de 2008. <https://www.consumer.es/medio-ambiente/depositos-de-co2-en-espana.html>.

FRICLER, V. 2023. Pirólisis por microondas de residuos: influencia de catalizadores, absorbentes, tamaño de partículas y componentes de mezcla. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2023.105962>

GEROSA, Fernando. Martínez Verónica, Cucutchet Gustavo, García Rodrigo, Franco Juan. 2014. Producción de hidrógeno biológico por fermentación de glucosa. 2014.

GOB.PE. 2021. [En línea] 27 de ABRIL de 2021. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/487809-alrededor-de-93-mil-toneladas-de-residuos-solidos-fueron-valorizados-en-el-2020-a-nivel-nacional>.

GOSGOT, W. 2021. Valorización energética de residuos orgánicos mediante pirólisis. Lima: Revista de investigación: Revista de ingeniería química ambiental, 2021. pág. 106.
ISSN: 2021-2766.

HERNÁNDEZ, A. 2017. Propuesta de diseño para realizar la pirólisis de la cascara de arroz. México: Technol. Química, 2017. pág. 22.

HEWEI, Jiang. 2022. Predicción y evaluación de propiedades de combustibles y características de pirólisis de residuos sólidos industriales combustibles. China: Revista del Instituto de Energía, 2022.

HOLGER, Sinchire y Topa, Danny. 2020. Diseño y simulación de un horno pirolítico de 200 litros. Quito: s.n., 2020.

MALERO, A. Egizabal, I. Arrillaga y M. Belsue. 2017. estrucplan. [En línea] 20 de abril de 2015. <https://estrucplan.com.ar/residuos-solidos-urbanos-produccion-biologica-de-hidrogeno-a-partir-de-residuos/>.

MEJÍA, Alexandra. 2022. Obtención de biocombustible mediante pirólisis con base en el aprovechamiento de residuos. Colombia: Repositorio Universidad de América, 2022.

MLONKA, Agata y Panagiotis, E. 2021. Pirólisis de biomasa de residuos sólidos para la producción de combustible gaseoso. Suecia: Revista internacional de ciencia y tecnología ambiental, 2021.

KERLINGER, F. 2022. Enfoque conceptual de la Investigación del comportamiento. California: s.n., 2002.

LÓPEZ Pérez, Verónica Paulina y Ramírez Montesdeoca, Wilson Andrés. 2021. Diseño de un Horno para Tratamiento Térmico del Rodete de la Turbina Francis

(CELEC Unidad de Negocio Hidroagoyán). Chimborazo: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2011.

PALACIOS, Manuel Parra. 2022. A. likendin. A. likendin Web site. [En línea] 6 de septiembre de 2020. <https://www.linkedin.com/pulse/procesos-de-obtenci%C3%B3n-hidr%C3%B3geno-y-sus-posibilidades-manuel/>.

PERALTA, Montaña y Byron, Bermeo Córdova. 2018. Diseño y construcción de un reactor de pirólisis de combustión lenta con una capacidad de 10 kg a escala de laboratorio para el tratamiento de los residuos sólidos biodegradables. 2014.

QUISHPE, Luis Armando Caiza. 2019. researchgate.net. researchgate.net. [En línea] junio de 2015. https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Diagrama-del-proceso-de-obtencion-de-hidrogeno-por-reformado-de-hidrocarburos_fig1_333902894.

ROSHA, P. 2022. Análisis de sensibilidad de la pirólisis de biomasa para la producción de combustibles renovables utilizando Aspen Plus. Canadá: Elsevier, 2022.

REPSOL. 2020. REPSOL. [En línea] 16 de OCTUBRE de 2020. <https://www.repsol.com/es/sala-prensa/repsol-news/41/index.cshtml>.

SALAS, L. 2020. Densidades y propiedades de los residuos sólidos. Nueva York: Agencia de Protección Ambiental de EE. UU, 2020.

SEONHO, Lee, Yiu, Fai y Eilhann, Kwon. 2022. Empleo de biogás como medio de pirólisis y materia prima química. Corea del Sur: Ciencia Directa, 2022.

SINIA. 2021. Reposte estadístico departamental de residuos sólidos. Lambayeque: Sistema Nacional de Información Ambiental, 2021.

TAIBI, Abhinav Chugh/ Emanuele. 2021. WORLD ECONOMIC FORUM. [En línea] 21 de diciembre de 2021. <https://www.weforum.org/agenda/2021/12/what-is-green-hydrogen-expert-explains-benefits/>.

TORRES, Reinhardt Acuña. 2012. bioreactorcrc. wordpress. [En línea] 25 de mayo de 2023. <https://bioreactorcrc.wordpress.com/2012/03/25/produccion-biotecnologica-de-hidrogeno-y-uso-de-foto-bioreactores/>.

VELMURUGAN, V. 2022. Revisión de la investigación y el desarrollo en el proceso de pirólisis. India : Elsevier, 2022.

XUN, H. 2019. Pirólisis de biomasa: una revisión del desarrollo del proceso y los desafíos desde las investigaciones iniciales hasta la etapa de comercialización. Iran : Ciencia Directa, 2019.

YETIS, M. Gunduz, U. Eroglu, I. Yucel, M. y Turker, L. 2000. 2000, International Journal of Hydrogen Energy, págs. 1035-1041.

YOKOI, H. Saitsu, Journal of Bioscience and Bioengineering, págs. 58-63.
“Production of hydrogen from sugar refinery wastewater by Rhodobacter
sphaeroides”.

ANEXO:

Tabla 1: Técnicas e instrumentos del estudio

| Técnica | Instrumento de recolección de datos |
|-----------------------|--|
| Análisis documentario | Fichas de registro |
| Observación directa | Fichas de observación de campo |

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 2. Residuos sólidos en la provincia de Chiclayo (2013-2022)

| Año | Población | Cantidad de residuos sólidos (Kg/día) |
|------------|------------------|--|
| 2013 | 537726 | 398 992.53 |
| 2014 | 545254 | 417 119.26 |
| 2015 | 552887 | 435 896.50 |
| 2016 | 560628 | 454 613.18 |
| 2017 | 568477 | 473 541.10 |
| 2018 | 576435 | 492 512.15 |
| 2019 | 584505 | 511 676.09 |
| 2020 | 592689 | 531 108.21 |
| 2021 | 600986 | 547 558.52 |
| 2022 | 609400 | 582 281.70 |

Fuente: Elaborado por los autores

Nota: Reportes extraídos de Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos de Chiclayo, INEI (2022), SINIA (2021)

Tabla 3. Ratio de generación de residuos sólidos por habitante de la provincia de Chiclayo

| Año | Cantidad de residuos por habitante (Kg/día/hab.) |
|------------|---|
| 2013 | 0.742 |
| 2014 | 0.765 |
| 2015 | 0.7884 |
| 2016 | 0.8109 |
| 2017 | 0.833 |
| 2018 | 0.85441 |
| 2019 | 0.8754 |
| 2020 | 0.8961 |
| 2021 | 0.9111 |
| 2022 | 0.9555 |

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 4. Longitud y diámetros óptimos del horno pirolítico

| Volumen total | 1492 | m³ | |
|--------------------------|-------------------------------------|---|--|
| Volumen (fórmula) | 2.938*L³ | m³ | |
| Relación | 0.44 = D/L | m/m | |
| Longitud (m) | Diámetro (m) D = 0.44 * L | Volumen (m³) Vu = 2.938 * L ³ | N° de Hornos $\frac{Vt}{Vu}$ |
| 2 | 0.88 | 11.752 | 127 |
| 3 | 1.32 | 26.442 | 56 |
| 4 | 1.76 | 47.008 | 32 |
| 5 | 2.2 | 73.45 | 20 |
| 6 | 2.64 | 105.768 | 14 |
| 7 | 3.08 | 143.962 | 10 |

Tabla 5. Resultados del diagnóstico de residuos sólidos de la ciudad de Chiclayo y parámetros de diseño.

| Parámetro | Valor | Unidad |
|--|--------------|-------------------|
| Residuos sólidos (2022) | 582281.70 | Kg/día |
| Residuos sólidos proyectados (2032) | 851987.56 | Kg/día |
| Ratio de residuos sólidos en la ciudad de Chiclayo | 0.742 | Kg/día/hab. |
| Cantidad de horno pirolíticos necesarios | 20 | - |
| Flujo másico por cada horno pirolítico | 1775 | Kg/h |
| Longitud del horno pirolítico | 5 | m |
| Diámetro del horno pirolítico | 2.2 | m |
| Temperatura de calentamiento | 600 | °C |
| Velocidad de calentamiento | 30 | °C/mín. |
| Flujo másico de biochar (carbón vegetal) | 408.24 | Kg/h |
| Flujo másico de gas | 1336.56 | Kg/h |
| Flujo volumétrico de gas | 1090.80 | m ³ /h |
| Flujo másico de hidrógeno | 543.6 | Kg/h |
| Flujo volumétrico de hidrógeno | 435.60 | m ³ /h |

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 6. Propiedades mecánicas del material Q235

| Composición química % | | | | | Propiedades mecánicas | | |
|------------------------------|------|------|-------|------|------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| C | Si | Mn | P | S | Límite elástico MPa | Alargamiento mm | Resistencia a la Temperatura °C |
| 0.22 | 0.35 | 1.40 | 0.045 | 0.05 | 235 | 26 | -20 a 800 |

Tabla 7: Secciones de fajas en V

| Secciones de bandas en V estándar | Sección de la banda | | Diámetro mínimo de polea, pulg | | Intervalo de potencias (hp), una o más bandas |
|---|---------------------|-------------------|--------------------------------|------|---|
| | Ancho a , pulg | Esesor b , pulg | | | |
|  | A | $\frac{1}{2}$ | $\frac{11}{32}$ | 3.0 | $\frac{1}{4}$ -10 |
| | B | $\frac{21}{32}$ | $\frac{7}{16}$ | 5.4 | 1-25 |
| | C | $\frac{7}{8}$ | $\frac{17}{32}$ | 9.0 | 15-100 |
| | D | $1\frac{1}{4}$ | $\frac{3}{4}$ | 13.0 | 50-250 |
| | E | $1\frac{1}{2}$ | 1 | 21.6 | 100 y mayores |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Tabla 8: Tabla de reductor de velocidad coaxial con engranajes helicoidales

| rpm | | i_{tot} | | Fr (N) | | código | | páginas | |
|------|------|-----------|------|--------|-----------|--------|--|---------|--|
| | | | | | | | | | |
| 83,6 | 20,9 | 4,78 | 7900 | C56226 | 113 a 115 | | | | |
| 71,0 | 24,7 | 4,06 | 8200 | C56227 | 113 a 115 | | | | |
| 66,6 | 26,3 | 3,81 | 8800 | C56228 | 113 a 115 | | | | |
| 78,6 | 22,3 | 4,50 | 9900 | C56327 | 113 a 115 | | | | |
| 70,4 | 24,8 | 4,03 | 9900 | C56328 | 113 a 115 | | | | |
| 65,1 | 26,9 | 3,73 | 9900 | C56329 | 113 a 115 | | | | |
| 53,9 | 32,5 | 3,08 | 9900 | C56330 | 113 a 115 | | | | |
| 46,6 | 37,6 | 2,67 | 9900 | C56331 | 113 a 115 | | | | |
| 43,7 | 40,1 | 2,50 | 9900 | C56332 | 113 a 115 | | | | |
| 39,1 | 44,7 | 2,24 | 9900 | C56333 | 113 a 115 | | | | |
| 36,2 | 48,4 | 2,07 | 9900 | C56334 | 113 a 115 | | | | |
| 29,9 | 58,5 | 1,71 | 9900 | C56335 | 113 a 115 | | | | |
| 25,9 | 67,6 | 1,48 | 9900 | C56337 | 113 a 115 | | | | |
| 21,9 | 80,0 | 1,25 | 9900 | C56338 | 113 a 115 | | | | |

Tabla 9: Dimensiones de conversión de longitud

| Sección de la banda | A | B | C | D | E |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Cantidad a sumar | 1.3 | 1.8 | 2.9 | 3.3 | 4.5 |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Tabla 10: Longitudes interiores de fajas en V

| Sección | Circunferencia, pulg |
|---------|---|
| A | 26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128 |
| B | 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300 |
| C | 51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420 |
| D | 120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660 |
| E | 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660 |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Tabla 11: Factor de corrección por ángulo de contacto K_1

| $\frac{D-d}{C}$ | θ , grados | VV | K_1 Plana en V |
|-----------------|-------------------|------|---------------------|
| 0.00 | 180 | 1.00 | 0.75 |
| 0.10 | 174.3 | 0.99 | 0.76 |
| 0.20 | 166.5 | 0.97 | 0.78 |
| 0.30 | 162.7 | 0.96 | 0.79 |
| 0.40 | 156.9 | 0.94 | 0.80 |
| 0.50 | 151.0 | 0.93 | 0.81 |
| 0.60 | 145.1 | 0.91 | 0.83 |
| 0.70 | 139.0 | 0.89 | 0.84 |
| 0.80 | 132.8 | 0.87 | 0.85 |
| 0.90 | 126.5 | 0.85 | 0.85 |
| 1.00 | 120.0 | 0.82 | 0.82 |
| 1.10 | 113.3 | 0.80 | 0.80 |
| 1.20 | 106.3 | 0.77 | 0.77 |
| 1.30 | 98.9 | 0.73 | 0.73 |
| 1.40 | 91.1 | 0.70 | 0.70 |
| 1.50 | 82.8 | 0.65 | 0.65 |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Tabla 12: Factor de corrección por longitud de la faja K_2

| Factor de longitud | Longitud nominal de la banda, pulg | | | | |
|--------------------|------------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| | Bandas A | Bandas B | Bandas C | Bandas D | Bandas E |
| 0.85 | Hasta 35 | Hasta 46 | Hasta 75 | Hasta 128 | |
| 0.90 | 38-46 | 48-60 | 81-96 | 144-162 | Hasta 195 |
| 0.95 | 48-55 | 62-75 | 105-120 | 173-210 | 210-240 |
| 1.00 | 60-75 | 78-97 | 128-158 | 240 | 270-300 |
| 1.05 | 78-90 | 105-120 | 162-195 | 270-330 | 330-390 |
| 1.10 | 96-112 | 128-144 | 210-240 | 360-420 | 420-480 |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Tabla 13: Factor de servicio K_s

| Máquina accionada | | Máquina motriz | | | | | |
|------------------------------|---|---|---------|-----|---|---------|-----|
| Clase | Ejemplos | Motores eléctricos (C.A. de arranque suave C.D. con arrancador estrella delta, C.D. Shunt), motores de combustión interna con más de 4 cilindros, máquinas con acoples flexibles. | | | Motores eléctricos (C.A. de arranque directo, C.D. serie y compuesto), máquinas de combustión interna con menos de 4 cilindros. | | |
| | | Horas de trabajo diarias | | | Horas de trabajo diarias | | |
| | | <10 | 10 a 16 | >16 | <10 | 10 a 16 | >16 |
| 1 (servicio ligero) | Agitador (densidad uniforme). Ventilador y soplador (<7.5kW). Compresor y bomba centrífuga. Banda transportadora (carga uniforme). | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.2 | 1.3 |
| 2 (servicio medio) | Agitador (densidad variable). Ventilador y soplador (>7.5kW). Compresor y bomba rotatoria. Banda transportadora (carga no uniforme). Generador, Lavadora, Eje de transmisión. Máquina herramienta, Imprenta, Máquina para madera. | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| 3 (servicio pesado) | Máquina para fabricar ladrillo. Elevador, Compresor y Bomba recíprocante. Transportadora (carga pesada). Montacargas, Molino de percusión, Pulverizadora, Prensa, Cizalla, Maquinaria para caucho, Vibrador, Maquinaria textil | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.6 |
| 4 (servicio extra pesado) | Troqueladora, Laminadora Trituradora circular, de mordazas, de rodillos Molino triturador de bolas y de barras | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 1.8 |

Fuente: Extraído del libro: "Elementos de máquinas". Autor: Fratschner O.
Tabla 14: Factores de seguridad de diseño de materiales

| Caso | Factor de Seguridad <i>FS</i> | Observaciones |
|------|-------------------------------|--|
| 1 | 1,25 ... 1,5 | Para materiales excepcionalmente confiables usados bajo condiciones controladas y sujetos a carga y esfuerzos que pueden determinarse con exactitud. Una consideración muy importante es que casi siempre se usan para pesos pequeños. |
| 2 | 1,5 ... 2 | Para materiales bien conocidos, para condiciones de medio ambiente razonablemente constantes y sujetos a carga y esfuerzos que puedan calcularse con facilidad. |
| 3 | 2 ... 2,5 | Para materiales promedio que trabajen en condiciones de medio ambiente ordinarias y sujetos a cargas y esfuerzos que puedan calcularse. |

Fuente: Extraído de "Mechine Design Projects" de Joseph Vidosic (2015)

Tabla 15: Potencia tabulada de la banda en V

| Sección de la banda | Diámetro de paso de la polea, pulg | Velocidad de la banda, pie/min | | | | |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 000 | 2 000 | 3 000 | 4 000 | 5 000 |
| A | 2.6 | 0.47 | 0.62 | 0.53 | 0.15 | |
| | 3.0 | 0.66 | 1.01 | 1.12 | 0.93 | 0.38 |
| | 3.4 | 0.81 | 1.31 | 1.57 | 1.53 | 1.12 |
| | 3.8 | 0.93 | 1.55 | 1.92 | 2.00 | 1.71 |
| | 4.2 | 1.03 | 1.74 | 2.20 | 2.38 | 2.19 |
| | 4.6 | 1.11 | 1.89 | 2.44 | 2.69 | 2.58 |
| | 5.0 y mayor | 1.17 | 2.03 | 2.64 | 2.96 | 2.89 |
| B | 4.2 | 1.07 | 1.58 | 1.68 | 1.26 | 0.22 |
| | 4.6 | 1.27 | 1.99 | 2.29 | 2.08 | 1.24 |
| | 5.0 | 1.44 | 2.33 | 2.80 | 2.76 | 2.10 |
| | 5.4 | 1.59 | 2.62 | 3.24 | 3.34 | 2.82 |
| | 5.8 | 1.72 | 2.87 | 3.61 | 3.85 | 3.45 |
| | 6.2 | 1.82 | 3.09 | 3.94 | 4.28 | 4.00 |
| | 6.6 | 1.92 | 3.29 | 4.23 | 4.67 | 4.48 |
| 7.0 y mayor | 2.01 | 3.46 | 4.49 | 5.01 | 4.90 | |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Tabla 16: Porcentaje de carga para la fuerza axial.

| Tipo de carga | Porcentaje de la carga (%) |
|---------------|----------------------------|
| Estática | 3 a 5 |
| Dinámica | 5 a 8 |
| Mixta | 10 a 15 |

Fuente: Extraído del libro: "Elementos de máquinas" Fratschner (2015)

Tabla 17: Características del AISI 1050

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------|-------------|------------------------|---|---|------------------|----------------------------|-------------------|
| AISI núm. | Tratamiento | Temperatura °C (°F) | Resistencia a la tensión MPa (kpsi) | Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi) | Elongación, % | Reducción en el área, % | Dureza Brinell |
| 1030 | TyR* | 205 (400) | 848 (123) | 648 (94) | 17 | 47 | 495 |
| | TyR* | 315 (600) | 800 (116) | 621 (90) | 19 | 53 | 401 |
| | TyR* | 425 (800) | 731 (106) | 579 (84) | 23 | 60 | 302 |
| | TyR* | 540 (1 000) | 669 (97) | 517 (75) | 28 | 65 | 255 |
| | TyR* | 650 (1 200) | 586 (85) | 441 (64) | 32 | 70 | 207 |
| | Normalizado | 925 (1 700) | 521 (75) | 345 (50) | 32 | 61 | 149 |
| | Recocido | 870 (1 600) | 430 (62) | 317 (46) | 35 | 64 | 137 |
| 1040 | TyR | 205 (400) | 779 (113) | 593 (86) | 19 | 48 | 262 |
| | TyR | 425 (800) | 758 (110) | 552 (80) | 21 | 54 | 241 |
| | TyR | 650 (1 200) | 634 (92) | 434 (63) | 29 | 65 | 192 |
| | Normalizado | 900 (1 650) | 590 (86) | 374 (54) | 28 | 55 | 170 |
| | Recocido | 790 (1 450) | 519 (75) | 353 (51) | 30 | 57 | 149 |
| 1050 | TyR* | 205 (400) | 1 120 (163) | 807 (117) | 9 | 27 | 514 |
| | TyR* | 425 (800) | 1 090 (158) | 793 (115) | 13 | 36 | 444 |
| | TyR* | 650 (1 200) | 717 (104) | 538 (78) | 28 | 65 | 235 |
| | Normalizado | 900 (1 650) | 748 (108) | 427 (62) | 20 | 39 | 217 |
| | Recocido | 790 (1 450) | 636 (92) | 365 (53) | 24 | 40 | 187 |

Fuente: Tabla extraída del libro de ingeniería de diseño Shigley (2018).

Tabla 18: Vida nominal para rodamientos SKF

| Valores orientativos de la vida útil especificada de los diferentes tipos de máquinas | |
|--|---|
| Tipo de máquina | Vida útil especificada Horas de funcionamiento |
| Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico | 300 ... 3 000 |
| Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción | 3 000 ... 8 000 |
| Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc. | 8 000 ... 12 000 |
| Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias | 10 000 ... 25 000 |
| Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras | 20 000 ... 30 000 |
| Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil | 40 000 ... 50 000 |
| Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador | 30 000 ... 100 000 |
| Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar | 60 000 ... 100 000 |
| Maquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar | > 100 000 |

Tabla 19: Parámetros de rodamientos SKF 61932

| Dimensiones principales | | | Capacidad de carga básica | | Carga límite de fatiga | Velocidades nominales | | Masa | Designación |
|-------------------------|-----|-----|---------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|------------------|--------|-------------|
| d | D | B | dinámica C | estática C ₀ | P _u | Velocidad de referencia | Velocidad límite | | |
| mm | | | kN | | kN | r. p. m. | | kg | - |
| 150 | 190 | 20 | 48,8 | 61 | 1,96 | 6 700 | 4 300 | 1,2 | 61830 |
| | 210 | 28 | 88,4 | 93 | 2,9 | 6 300 | 5 300 | 3,05 | 61930 MA |
| | 225 | 24 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 3 800 | 3,15 | 16030 |
| | 225 | 35 | 125 | 125 | 3,9 | 6 000 | 3 800 | 4,3 | 6030 |
| | 270 | 45 | 174 | 166 | 4,9 | 5 000 | 3 200 | 10 | 6230 |
| | 320 | 65 | 276 | 285 | 7,8 | 4 300 | 2 800 | 23 | 6330 |
| | 320 | 65 | 276 | 285 | 7,8 | 4 300 | 4 000 | 26 | 6330 M |
| 160 | 200 | 20 | 49,4 | 64 | 2 | 6 300 | 4 000 | 1,25 | 61832 |
| | 220 | 28 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 3 800 | 2,7 | 61932 MA |
| | 220 | 28 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 5 000 | 3,2 | 61932 MA |
| | 240 | 25 | 99,5 | 108 | 3,25 | 5 600 | 3 600 | 3,65 | 16032 |
| | 240 | 38 | 143 | 143 | 4,3 | 5 600 | 3 600 | 5,2 | 6032 |
| | 290 | 48 | 186 | 186 | 5,3 | 4 500 | 3 000 | 13 | 6232 |
| | 340 | 68 | 276 | 285 | 7,65 | 4 000 | 2 600 | 26 | 6332 |
| 340 | 68 | 276 | 285 | 7,65 | 4 000 | 3 800 | 30,5 | 6332 M | |
| 170 | 215 | 22 | 61,8 | 78 | 2,4 | 6 000 | 3 600 | 1,65 | 61834 |
| | 230 | 28 | 93,6 | 106 | 3,15 | 5 600 | 4 800 | 3,4 | 61934 MA |
| | 260 | 28 | 119 | 129 | 3,75 | 5 300 | 3 200 | 5 | 16034 |
| | 260 | 42 | 168 | 173 | 5 | 5 300 | 3 200 | 7 | 6034 |
| | 260 | 42 | 168 | 173 | 5 | 5 300 | 4 300 | 8,15 | 6034 M |
| | 310 | 52 | 212 | 224 | 6,1 | 4 300 | 2 800 | 16 | 6234 |
| | 310 | 52 | 212 | 224 | 6,1 | 4 300 | 3 800 | 18 | 6234 M |
| 360 | 72 | 312 | 340 | 8,8 | 3 800 | 2 400 | 31 | 6334 | |
| 360 | 72 | 312 | 340 | 8,8 | 3 800 | 3 400 | 36 | 6334 M | |
| 180 | 225 | 22 | 62,4 | 81,5 | 2,45 | 5 600 | 3 400 | 1,75 | 61836 |
| | 250 | 33 | 119 | 134 | 3,9 | 5 300 | 3 200 | 5 | 61936 |
| | 250 | 33 | 119 | 134 | 3,9 | 5 300 | 4 300 | 5 | 61936 MA |
| | 280 | 31 | 138 | 146 | 4,15 | 4 800 | 3 000 | 6,5 | 16036 |
| | 280 | 46 | 190 | 200 | 5,6 | 4 800 | 3 000 | 9,1 | 6036 |
| | 280 | 46 | 190 | 200 | 5,6 | 4 800 | 4 000 | 10,5 | 6036 M |

Fuente: Ficha técnica de rodamientos SKF, 2020.

Tabla 20: Parámetros de rodamientos SKF 6032

| Dimensiones principales | | | Capacidad de carga básica | | Carga límite de fatiga | Velocidades nominales | | Masa | Designación |
|-------------------------|-----|----|---------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|------------------|------|-------------|
| d | D | B | C | C ₀ | P _u | Velocidad de referencia | Velocidad límite | | |
| mm | | | kN | | kN | r. p. m. | | kg | - |
| 150 | 190 | 20 | 48,8 | 61 | 1,96 | 6 700 | 4 300 | 1,2 | 61830 |
| | 210 | 28 | 88,4 | 93 | 2,9 | 6 300 | 5 300 | 3,05 | 61930 MA |
| | 225 | 24 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 3 800 | 3,15 | 16030 |
| | 225 | 35 | 125 | 125 | 3,9 | 6 000 | 3 800 | 4,3 | 6030 |
| | 270 | 45 | 174 | 166 | 4,9 | 5 000 | 3 200 | 10 | 6230 |
| | 320 | 65 | 276 | 285 | 7,8 | 4 300 | 2 800 | 23 | 6330 |
| | 320 | 65 | 276 | 285 | 7,8 | 4 300 | 4 000 | 26 | 6330 M |
| 160 | 200 | 20 | 49,4 | 64 | 2 | 6 300 | 4 000 | 1,25 | 61832 |
| | 220 | 28 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 3 800 | 2,7 | 61932 |
| | 220 | 28 | 92,3 | 98 | 3,05 | 6 000 | 5 000 | 3,2 | 61932 MA |
| | 240 | 25 | 99,5 | 108 | 3,25 | 5 600 | 3 600 | 3,65 | 16032 |
| | 240 | 38 | 143 | 143 | 4,3 | 5 600 | 3 600 | 5,2 | 6032 |
| | 290 | 48 | 186 | 186 | 5,3 | 4 500 | 3 000 | 13 | 6232 |
| | 340 | 68 | 276 | 285 | 7,65 | 4 000 | 2 600 | 26 | 6332 |
| 170 | 340 | 68 | 276 | 285 | 7,65 | 4 000 | 3 800 | 30,5 | 6332 M |
| | 215 | 22 | 61,8 | 78 | 2,4 | 6 000 | 3 600 | 1,65 | 61834 |
| | 230 | 28 | 93,6 | 106 | 3,15 | 5 600 | 4 800 | 3,4 | 61934 MA |
| | 260 | 28 | 119 | 129 | 3,75 | 5 300 | 3 200 | 5 | 16034 |
| | 260 | 42 | 168 | 173 | 5 | 5 300 | 3 200 | 7 | 6034 |
| | 260 | 42 | 168 | 173 | 5 | 5 300 | 4 300 | 8,15 | 6034 M |
| | 310 | 52 | 212 | 224 | 6,1 | 4 300 | 2 800 | 16 | 6234 |
| 180 | 310 | 52 | 212 | 224 | 6,1 | 4 300 | 3 800 | 18 | 6234 M |
| | 360 | 72 | 312 | 340 | 8,8 | 3 800 | 2 400 | 31 | 6334 |
| | 360 | 72 | 312 | 340 | 8,8 | 3 800 | 3 400 | 36 | 6334 M |
| | 225 | 22 | 62,4 | 81,5 | 2,45 | 5 600 | 3 400 | 1,75 | 61836 |
| | 250 | 33 | 119 | 134 | 3,9 | 5 300 | 3 200 | 5 | 61936 |
| | 250 | 33 | 119 | 134 | 3,9 | 5 300 | 4 300 | 5 | 61936 MA |
| | 280 | 31 | 138 | 146 | 4,15 | 4 800 | 3 000 | 6,5 | 16036 |
| | 280 | 46 | 190 | 200 | 5,6 | 4 800 | 3 000 | 9,1 | 6036 |
| | 280 | 46 | 190 | 200 | 5,6 | 4 800 | 4 000 | 10,5 | 6036 M |

Fuente: Ficha técnica de rodamientos SKF, 2020.

Tabla 21. Resultados principales de los componentes del horno pirolítico

| Parámetro | Valor/designación | Unidad | |
|---|------------------------------|---------------------|-------|
| Potencia de quemadores del horno pirolítico | 1000 | W | |
| Cantidad de quemadores | 4 | - | |
| Material del horno pirolítico | Q235 | - | |
| Límite elástico del material del horno pirolítico | 235 | MPa | |
| Espesor de pared el horno pirolítico | 2 | pulg. | |
| Tornillo sin fin | Velocidad de avance | 0.15 | m/s |
| | Radio de hélice | 145 | mm |
| | Longitud | 2950 | mm |
| | Velocidad de rotación | 10 | rpm |
| Motorreductor para transporte de sólidos | 1.75 (900) | KW (rpm) | |
| Espesor de aislante algodón cerámico | 90 | mm | |
| Espesor de plancha de estructuras ASTM A36 | 2 | pulgada | |
| Dientes de rueda dentada ASTM A36 | N1=280, N2=10 | dientes | |
| Motorreductor de sistema de transmisión | 1.5 (1740) | KW (rpm) | |
| Fajas | Sección | A | - |
| | Ancho | 0.5 | pulg. |
| | Espesor | 11/32 | pulg. |
| | Diámetro de polea mayor | 3 | pulg. |
| | Diámetro de polea menor | 6.60 | pulg. |
| | Cantidad | 4 | - |
| Rodamiento | Vida estimada de rodamientos | 30000 | horas |
| | Rodamientos rígidos de bolas | SKF61932 SKF6032 | - |

Tabla 22: Inversión en el diseño del horno pirolítico.

| Equipo/Material | Cantidad | Costo unitario (\$) | Costo total (\$) |
|---|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| Horno pirolítico de acero Q235, L=5m, D=2.2 m, e= 50.8mm, V=73.45 m ³ , 1775 Kg/h de residuos sólidos, 0.121 m ³ /s de hidrógeno. | 1 | 80000.00 | 80000.00 |
| Quemador a gas BTG-3, 1000 W, A=250mm, B=242 mm, C=330 mm | 4 | 15000.00 | 60000.00 |
| Tornillo sin fin Q235, m=1775 Kg/h, V=0.15 m/s, r(hélice)=0.145 m, d=50 mm, n=10rpm, p=305 mm. | 1 | 20000.00 | 20000.00 |
| Motorreductor axial para transporte de residuos sólidos, P=1.75KW, n1=900 rpm, n2=10 rpm, T=1.65 KN.m, i=60, 8 polos. | 1 | 12500.00 | 12500.00 |
| Aislamiento térmico de algodón cerámico, D1=2.02 m, D2=2.2 m, K=0.035 W/m ² K, Q=1000W, T1=600°C, T2=50°C, e=90mm | 1 | 9700.00 | 9700.00 |
| Motorreductor coaxial sistema de transmisión, P=1.5KW, n1=1740 rpm, n2=21.90 rpm | 1 | 8300.00 | 8300.00 |
| Fajas en V, n1=21.90 rpm, n2=10, 5 fajas, d1=3pulg, d2=6.6 pulg, L=42 pulg, C=14 pulg, | 1 | 5200.00 | 5200.00 |
| Rueda dentada, ASTM A-36, N1=280, N2=10 | 1 | 3550.00 | 3550.00 |
| Eje de transmisión para movimiento de rueda dentada, AISI 1050 CD Tratado y revenido, Sy=807MPa, d=130 mm | 1 | 2540.00 | 2540.00 |
| Rodamientos SKF, L _{10h} =30000 horas 61932 | 2 | 600.00 | 1200.00 |
| Rodamientos SKF, L _{10h} =30000 horas 6032 | 2 | 650.00 | 1300.00 |
| Plancha ASTM A36, L=2.44 m, A=6 m, e= 50mm, para construcción de tolva, soportes estructurales, paredes del hogar de combustión del horno pirolítico. | 30 | 425.00 | 12750.00 |

| | | | |
|--|----|-----------|------------------|
| Válvula de control de sólidos residuales de 1775 Kg/h. | 1 | 1500.00 | 1500.00 |
| Válvula de control de combustible hidrógeno, 0.121 m ³ /s | 1 | 1200.00 | 1200.00 |
| Sistema de transporte de residuos hacia tolva, faja transportadora de H=4m, A=1m, con motor de accionamiento de 1HP. | 1 | 18000.00 | 18000.00 |
| Tuberías de acero inoxidable 304, d=4 in de transporte de gas, V=0.303 m ³ /s | 10 | 635.00 | 6350.00 |
| Sistema de enfriamiento (Torre) para separación de V=435.6 m ³ /h de hidrógeno. Potencia de 1.5 Kw | 1 | 17220.00 | 17220.00 |
| Válvula de control de gas V=0.303 m ³ /s, d=2 in. | 1 | 1900.00 | 1900.00 |
| Tanque de almacenamiento de hidrógeno de material acero Q235, D=0.5 m, L=2. V=26180 m ³ /día. | 3 | 6880.00 | 20640.00 |
| Mano de obra | 1 | 125000.00 | 125000.00 |
| Gastos operativos, transporte, y otros accesorios. | 1 | 10000.00 | 10000.00 |
| Inversión Total | | | 418850.00 |

Tabla 23. Valores del VAN y TIR del proyecto


| Años | Flujo de Fondos | Movimientos en el Periodo – Año |
|------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Inversión | -\$14,285,018.97 | Costo Inicial del Proyecto |
| 1 | \$8,377,000.00 | Beneficios Netos anuales |
| 2 | \$8,377,000.00 | Beneficios Netos anuales |
| 3 | \$8,377,000.00 | Beneficios Netos anuales |
| 4 | \$8,377,000.00 | Beneficios Netos anuales |
| 5 | \$8,377,000.00 | Beneficios Netos anuales |
| Total, Ingresos | \$41,885,000.00 | |
| Tasa de Interés: | 11.00% | |
| TIR | 51% | Tasa interna de Retorno |
| VAN | \$ 16,675,510.35 | Valor Actual Neto |

Tabla 24. Matriz de operacionalización de variables


| VARIABLES | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ESCALA DE MEDICIÓN |
|-----------|-----------------------|------------------------|-------------|-------------|--------------------|
|-----------|-----------------------|------------------------|-------------|-------------|--------------------|

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--------------|
| <p>INDEPENDIENTE: Diseño de un horno pirolítico de residuos sólidos</p> | <p>Según Hewei (2022), los hornos pirolíticos reducen los desperdicios sean orgánicos e inorgánicos y contaminantes a ceniza estéril, utilizando la pirólisis.</p> | <p>Según Petunchi (2018) estos sistemas, también llamados deficientes en aire, son empleados para incinerar residuos sólidos urbanos incluyendo residuos patológicos. Estos sistemas consisten en un proceso de dos etapas.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Parámetros mecánicos • Parámetros técnicos. | <ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU). • Dimensiones del horno. • Poder calorífico del hidrógeno obtenido. • La temperatura | <p>razón</p> |
| <p>DEPENDIENTE: Obtención del Hidrógeno</p> | <p>Según Mlonka, (2021), el hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica. Es el elemento químico más ligero que existe, su átomo está formado por un protón y un electrón y es estable en forma de molécula diatómica (H₂). En condiciones normales se encuentra en estado gaseoso, y es insípido, incoloro e inodoro.</p> | <p>El hidrógeno es la eterna promesa de los combustibles alternativos a aquellos fósiles y emisores de gases de efecto invernadero. A pesar de su enorme potencial, se trata de un combustible difícil de obtener, pues no se encuentra de forma aislada en la naturaleza.</p> | <p>Parámetros de operación del gas</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Flujo másico de hidrógeno • Flujo másico • Participaciones volumétricas. • Flujo de residuos sólidos • Velocidad de calentamiento • Temperatura | <p>razón</p> |

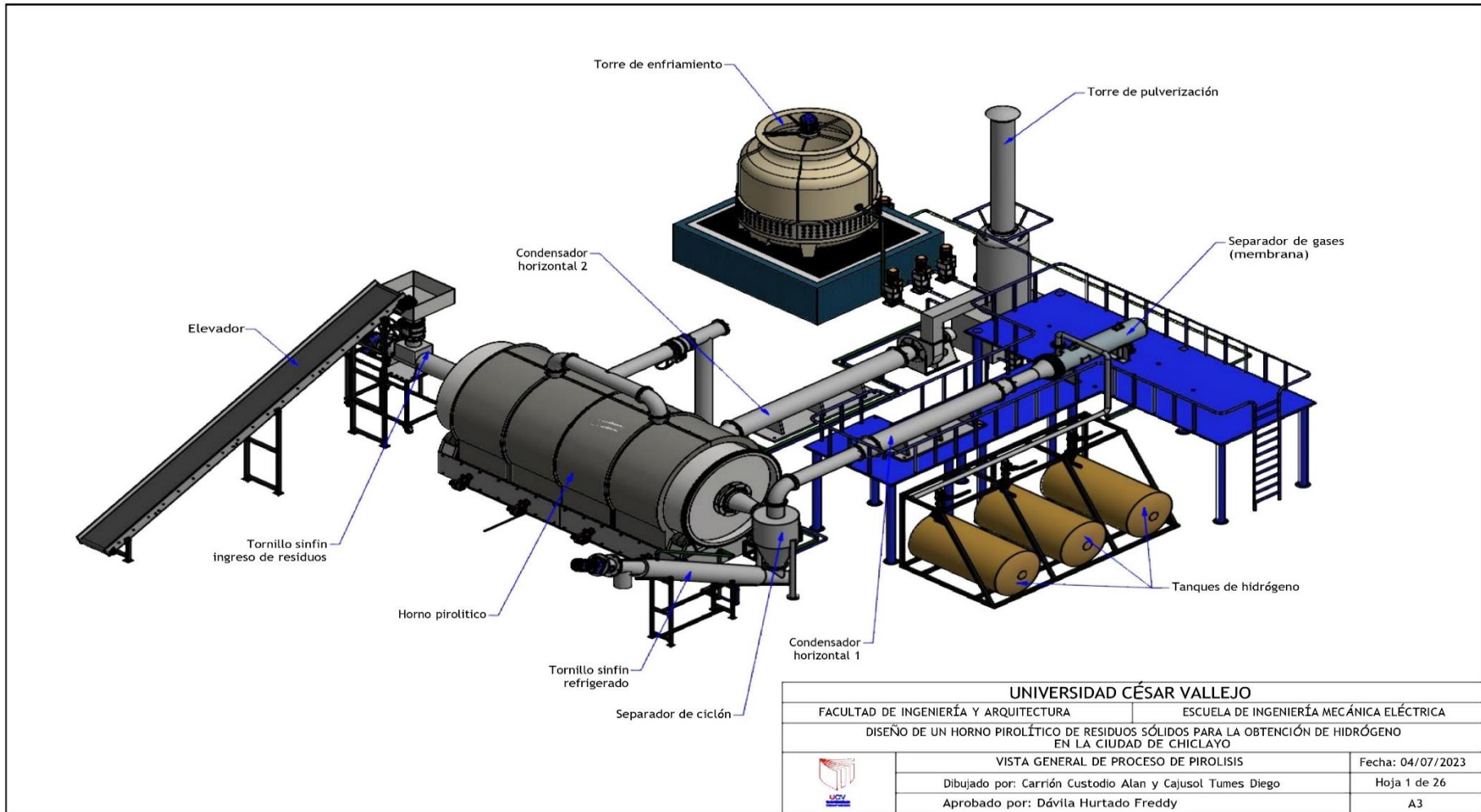
Ficha de observación

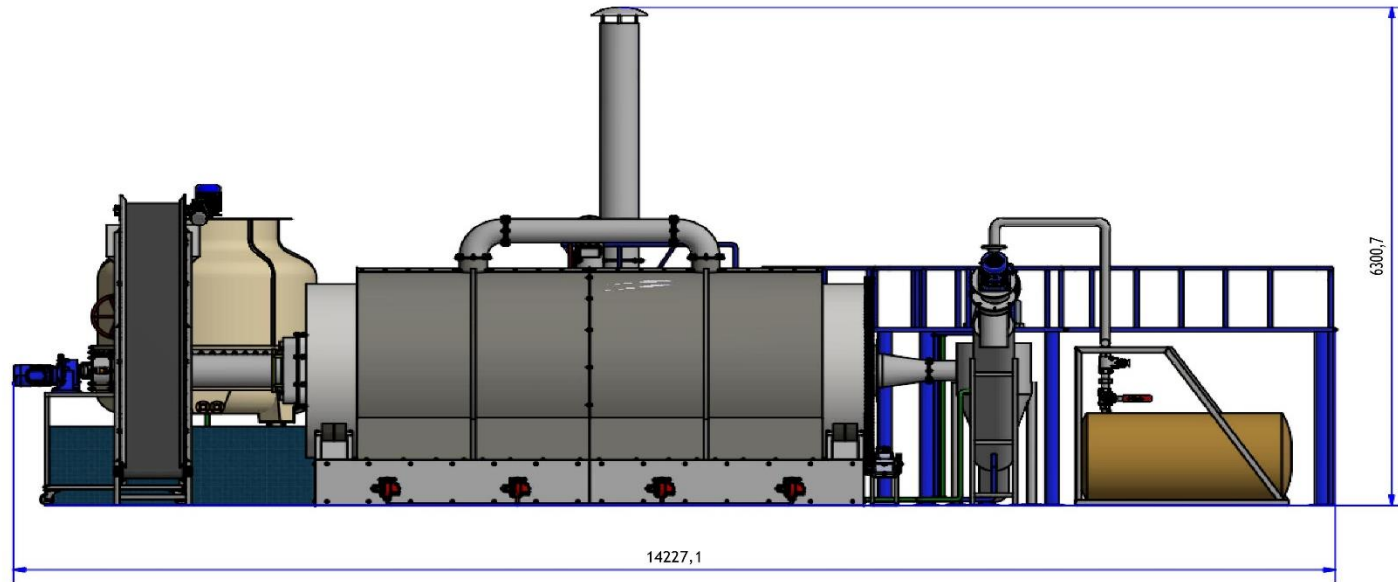
|  <p>UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO</p> | <p>Diseño de un horno pirolítico de residuos sólidos para la obtención de hidrógeno en la ciudad de Chiclayo</p> |
|---|---|
| <p>Objetivo: Verificar la situación de residuos sólidos en la ciudad de Chiclayo</p> | |
| CRITERIOS | OBSERVACIONES |
| ¿Se evidencia que en la ciudad de Chiclayo cuenta con un sistema eficiente de gestión de residuos sólidos? | |
| ¿Cuál es el estado actual de los residuos sólidos en la ciudad de Chiclayo? | |
| ¿Se evidencia que los residuos sólidos de Chiclayo son quemados, sepultados o empleados en otras actividades? | |
| ¿Se cuenta con una cantidad considerable de residuos sólidos para la generación de hidrógeno? | |
| ¿Cuál es el estado de degradación o descomposición de los residuos sólidos que genera la ciudad de Chiclayo? | |


Cuestionario

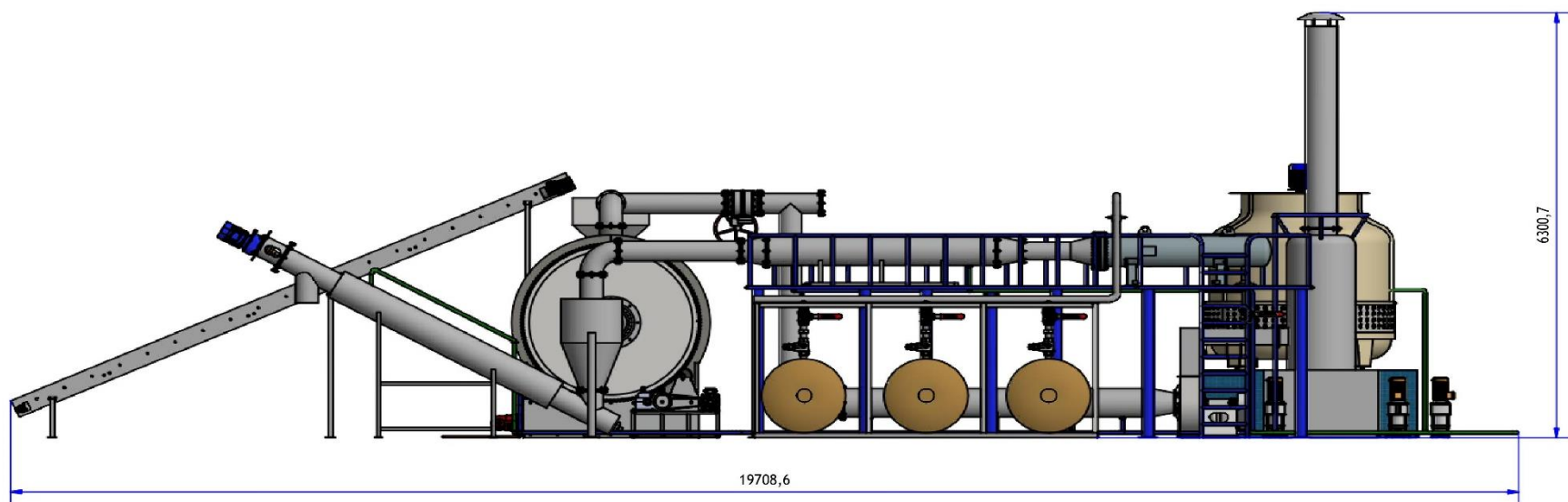
| | |
|--|--|
|  <p>UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO</p> | Diseño de un horno pirolítico de residuos sólidos para la obtención de hidrógeno en la ciudad de Chiclayo |
| OBJETIVO: Conocer la opinión de los ciudadanos, respecto al diseño de un horno pirolítico de residuos sólidos para la obtención de hidrógeno. | |
| INSTRUCCIONES: Para cada pregunta planteada, responda usted, según su criterio, tratando de ser breve, preciso y sincero con su respuesta. | |
| DATOS PERSONALES | |
| Apellidos, Nombres | |
| 1. ¿Cuáles son los principales residuos sólidos que genera la ciudad de Chiclayo? | |
| 2. ¿Está de acuerdo con generar hidrógeno como una fuente de energía a través de los residuos sólidos, como un medio de solución frente a la cantidad de residuos sólidos que existe actualmente? a) SI b) NO ¿Por qué? | |
| 3. ¿Cree que se le puede brindar una nueva utilidad a los residuos sólidos generados por la ciudad de Chiclayo? | |
| 4. ¿Está de acuerdo con la propuesta del diseño de un reactor o horno pirolítico, como medio favorable para generar hidrógeno? a) SI b) NO ¿Por qué? | |
| 5. ¿Cree usted, que la propuesta de generación de hidrógeno a través de los residuos sólidos, permitirá a la ciudad de Chiclayo mayores beneficios económicos? a) SI b) NO | |


PLANOS / LAMINAS.

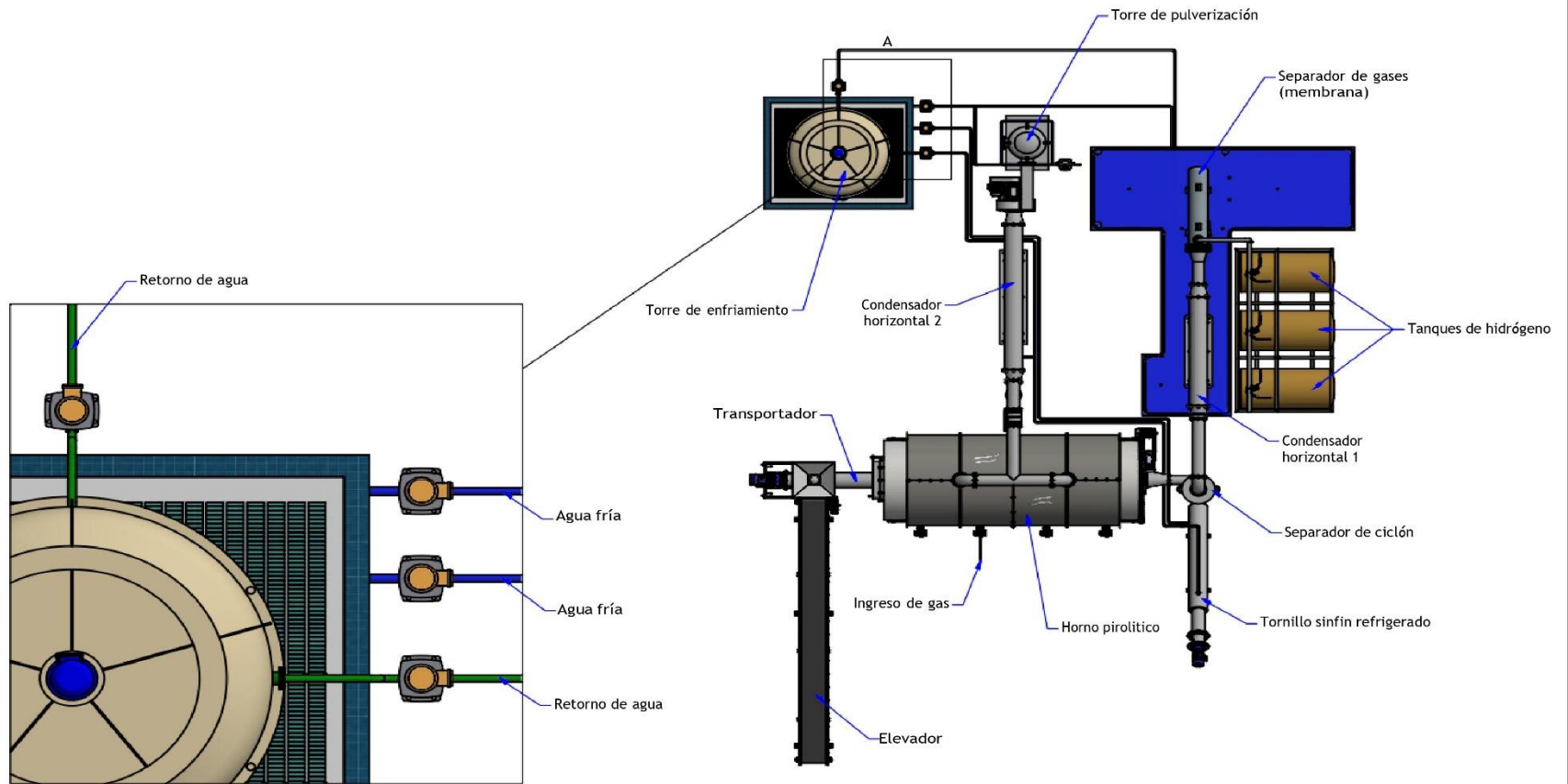





| | | |
|--|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | VISTA FRONTAL DE PROCESO DE PIROLISIS | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 2 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |

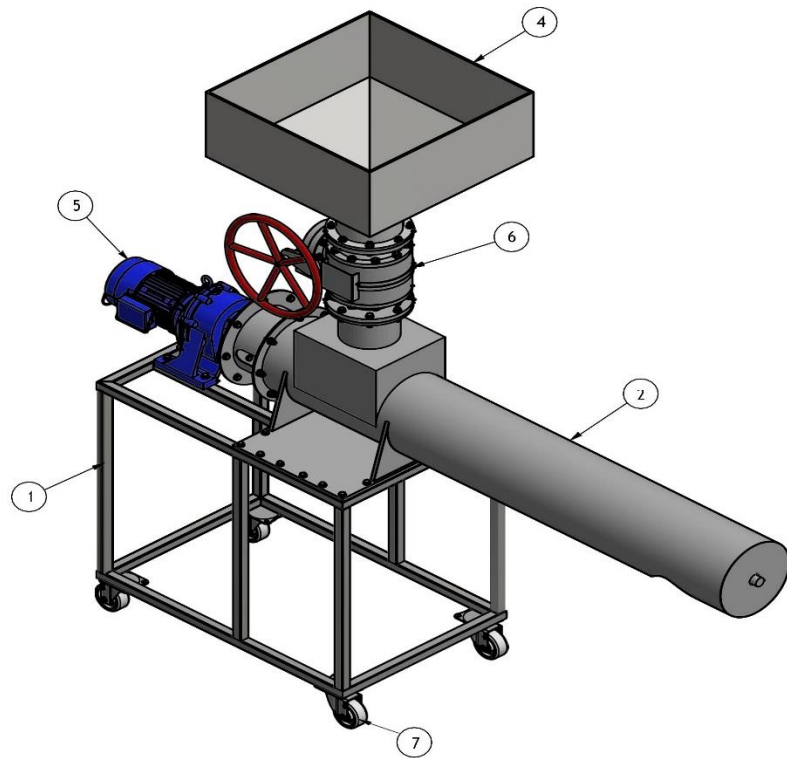


| | | |
|--|---|-------------------|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA | |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | VISTA LATERAL DERECHA DE PROCESO DE PIROLISIS | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 3 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |



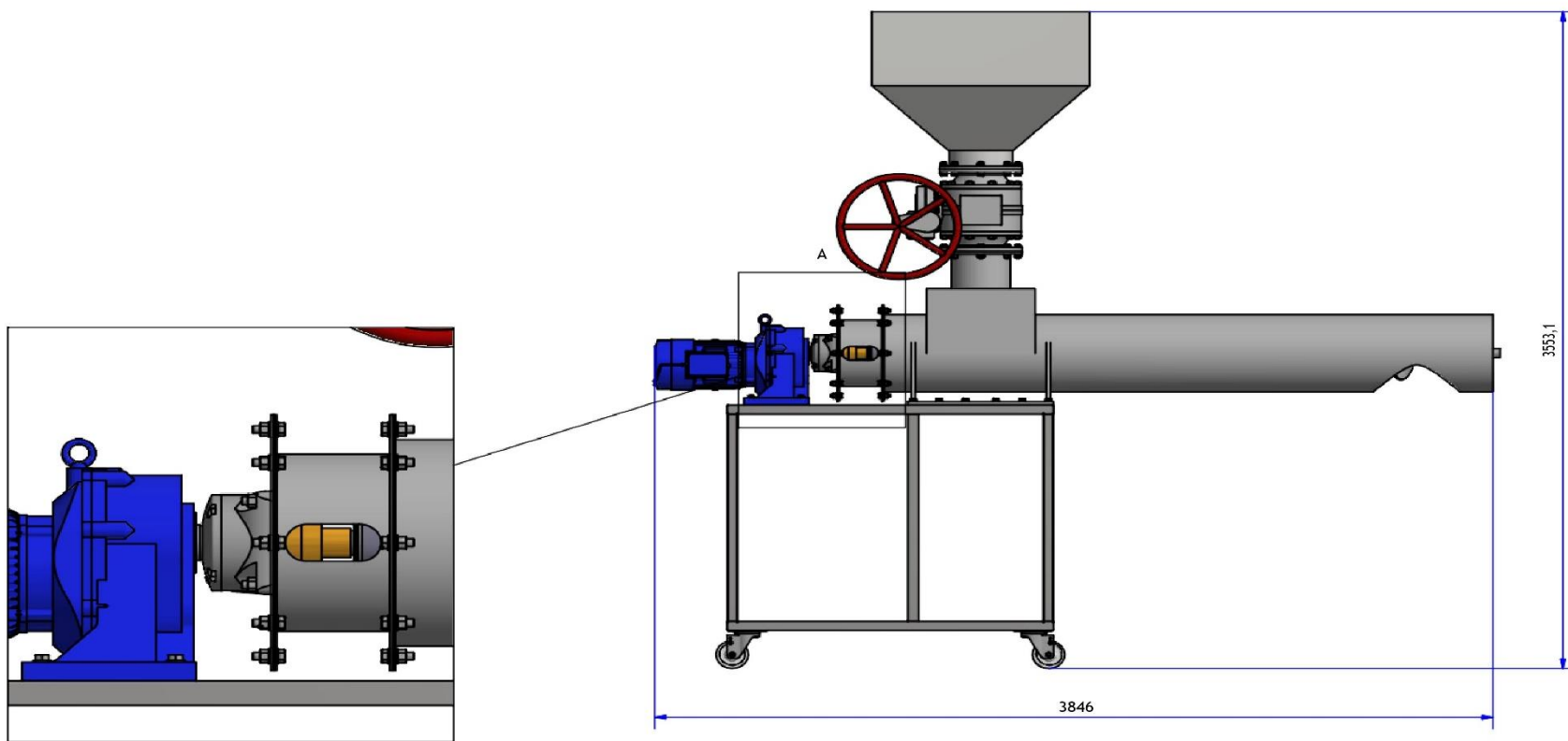
A (1 : 25)

| | | |
|---|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | VISTA PLANTA DE PROCESO DE PIROLISIS | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 4 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |



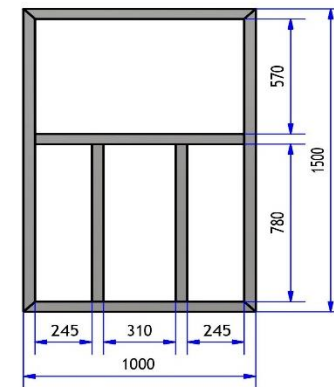
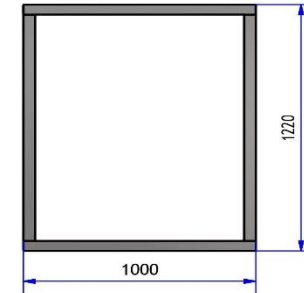
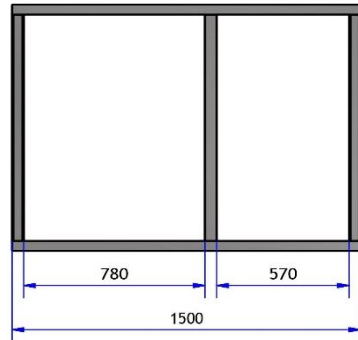
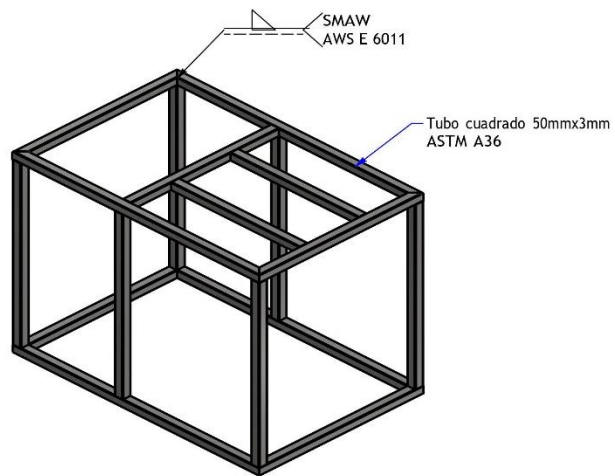
| LISTA DE PIEZAS | | | |
|-----------------|-------|----------------------------|-------------|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA | DESCRIPCIÓN |
| 1 | 1 | Base de tornillo sinfin | |
| 2 | 1 | Carcasa de tornillo sinfin | |
| 3 | 1 | Eje de tornillo sinfin | |
| 4 | 1 | Tolva | |
| 5 | 1 | Motor eléctrico 5.5kW | |
| 6 | 1 | Valvula manual | |
| 7 | 4 | Rueda | |


| | | |
|--|---|-------------------|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA | |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | TORNILLO SINFIN INGRESO DE RESIDUOS | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 5 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |

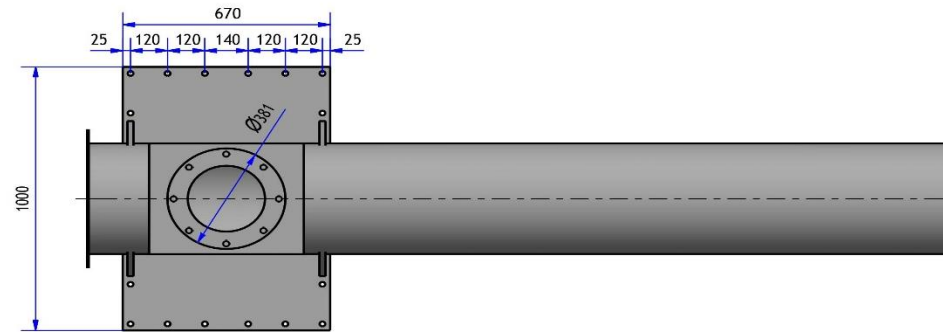
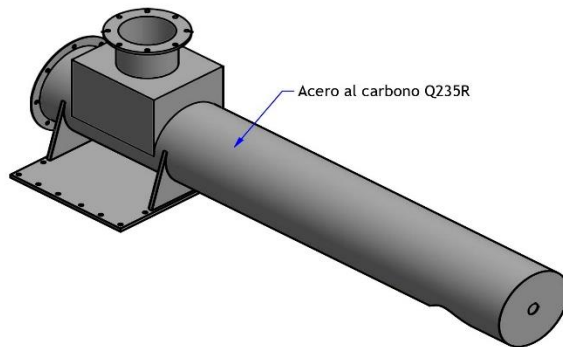
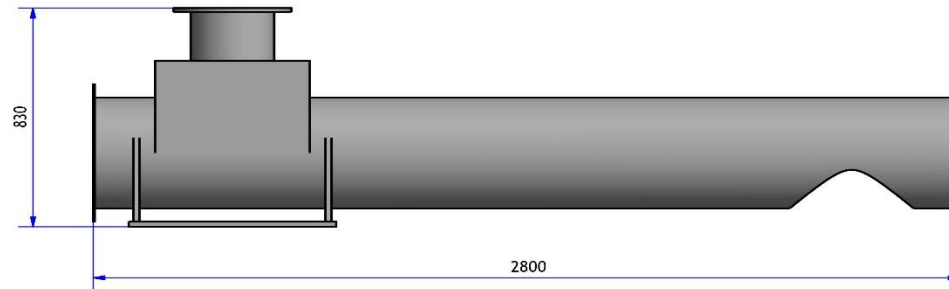
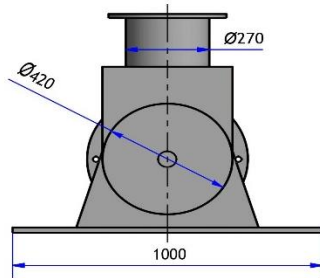



A (1 : 7.5)

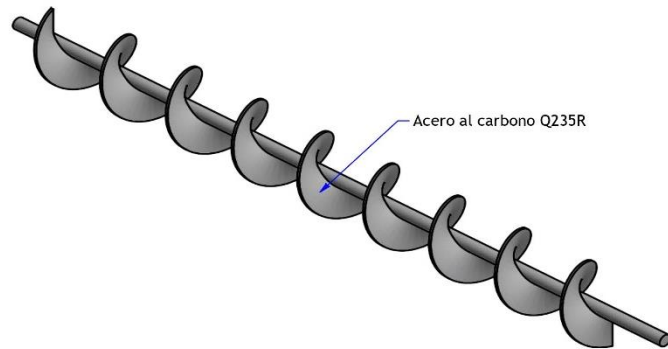
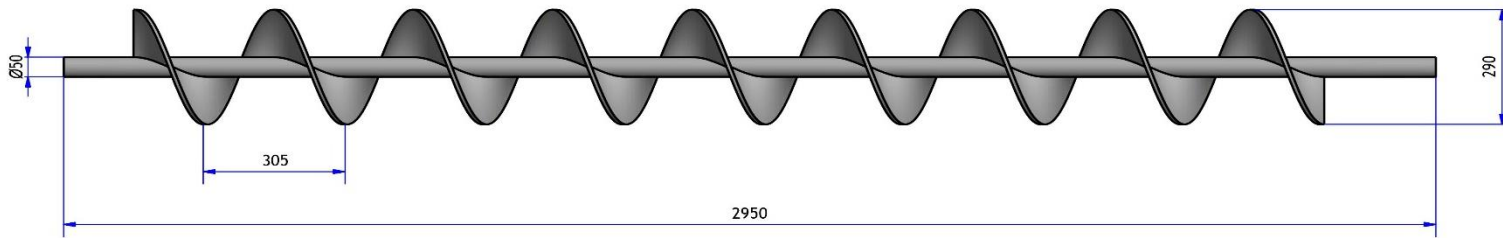
| | | |
|--|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | VISTA LATERAL DE TORNILLO SINFIN INGRESO DE RESIDUOS | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 6 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |




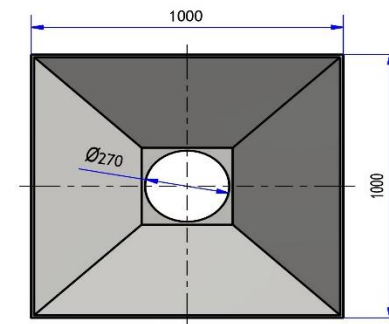
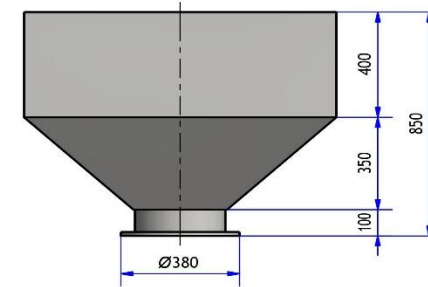
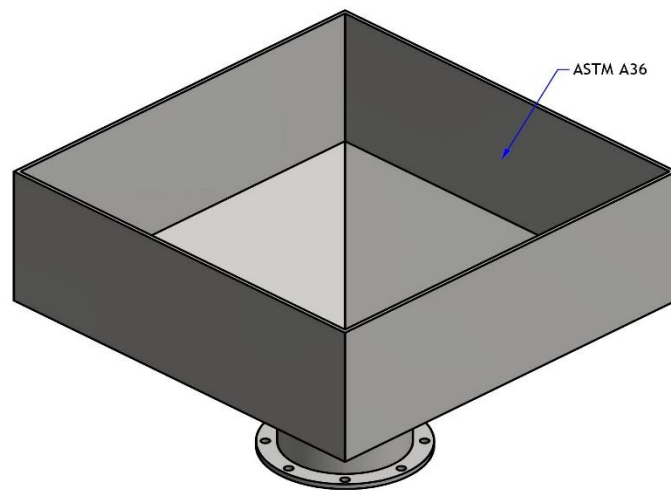
| | | |
|--|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | BASE DE TORNILLO SINFIN | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 7 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |




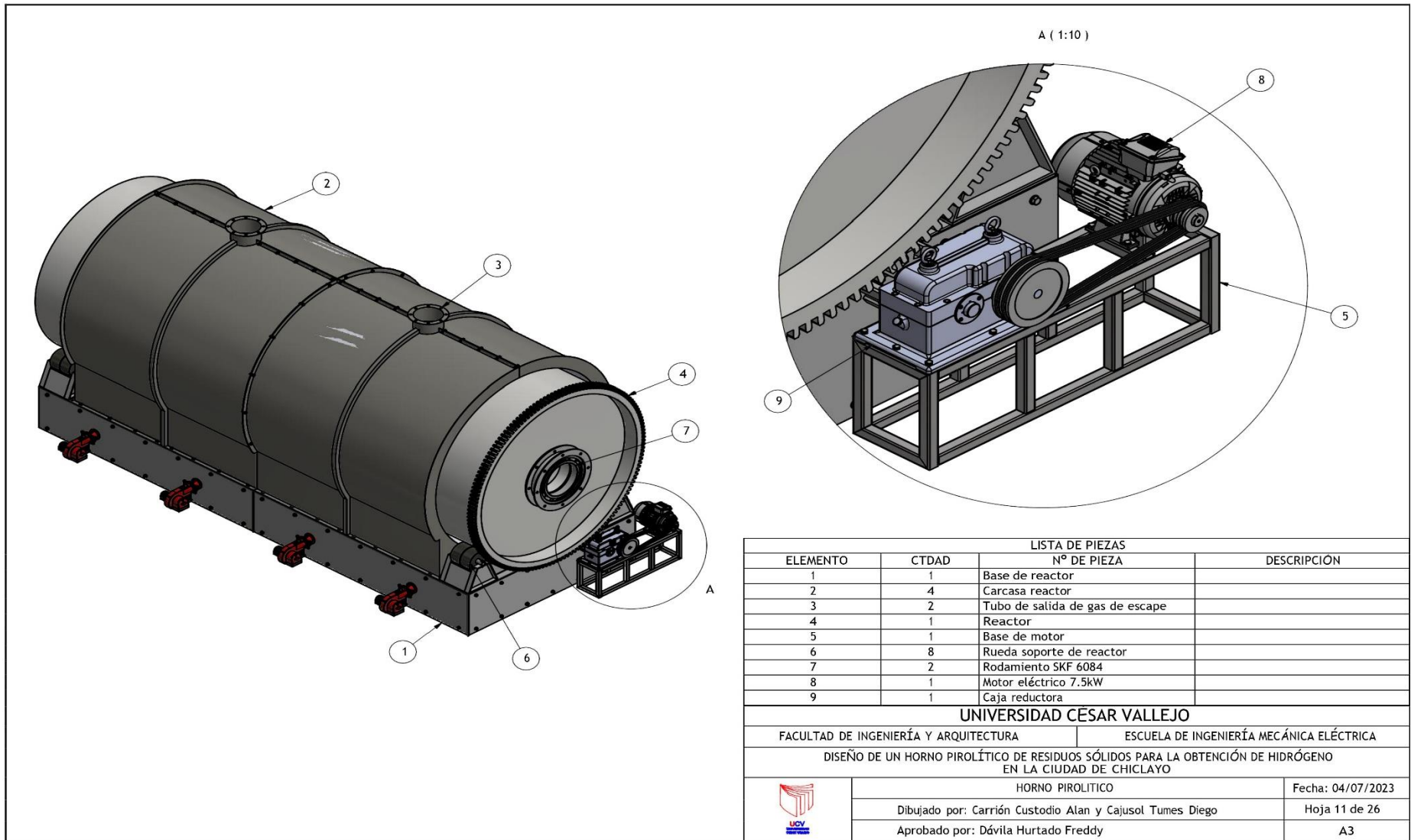
| | | |
|--|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | CARCASA DE TORNILLO SINFIN | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 8 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |




| | | |
|--|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | EJE DE TORNILLO SINFIN | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 9 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |

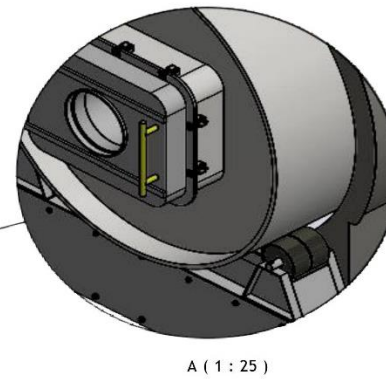
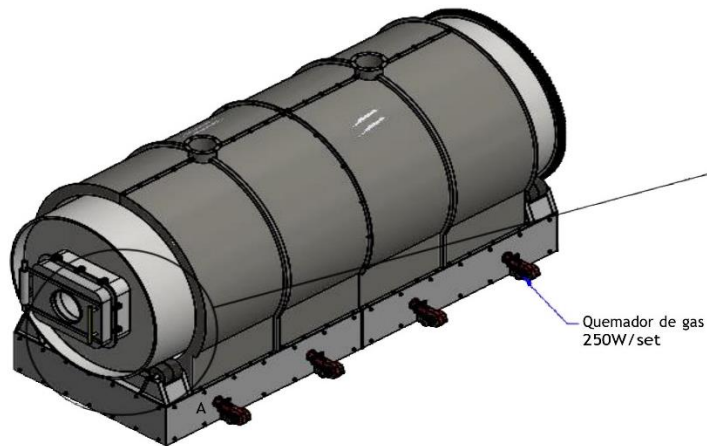
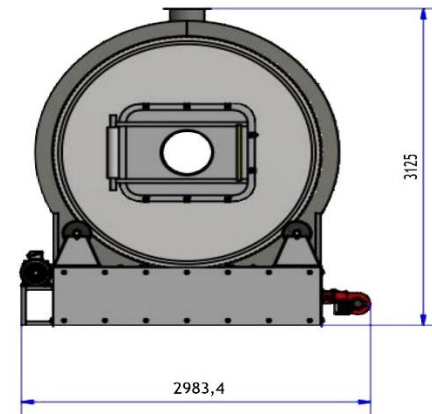


| | | |
|--|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | TOLVA | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 10 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |

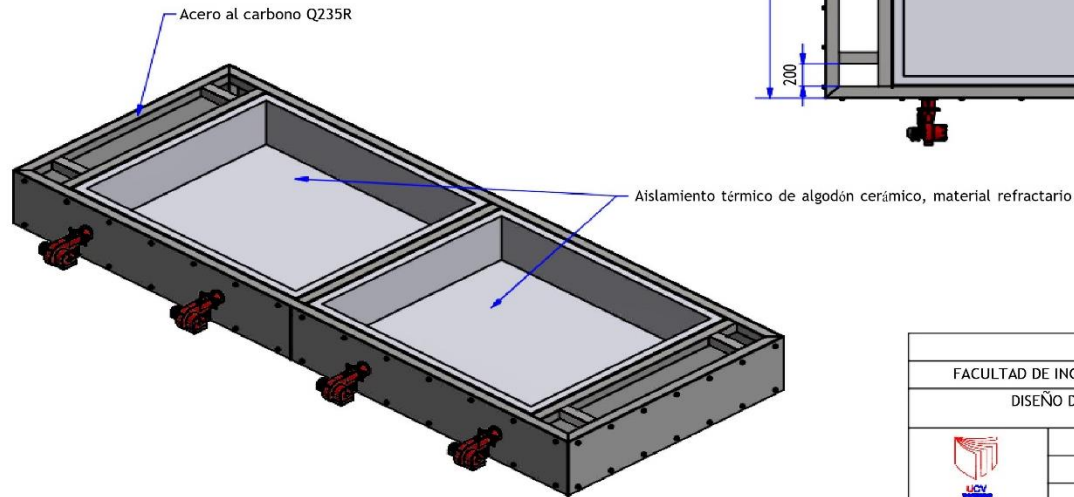
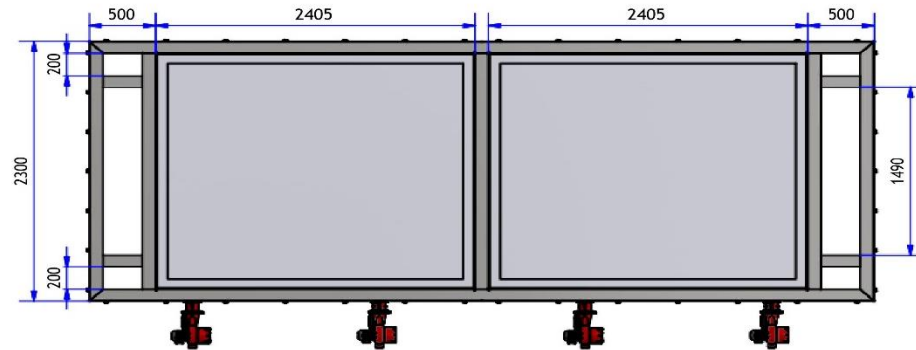
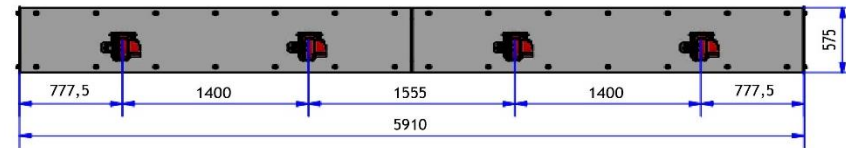
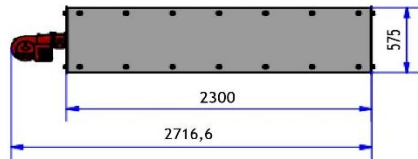



| LISTA DE PIEZAS | | | |
|-----------------|-------|---------------------------------|-------------|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA | DESCRIPCION |
| 1 | 1 | Base de reactor | |
| 2 | 4 | Carcasa reactor | |
| 3 | 2 | Tubo de salida de gas de escape | |
| 4 | 1 | Reactor | |
| 5 | 1 | Base de motor | |
| 6 | 8 | Rueda soporte de reactor | |
| 7 | 2 | Rodamiento SKF 6084 | |
| 8 | 1 | Motor eléctrico 7.5kW | |
| 9 | 1 | Caja reductora | |

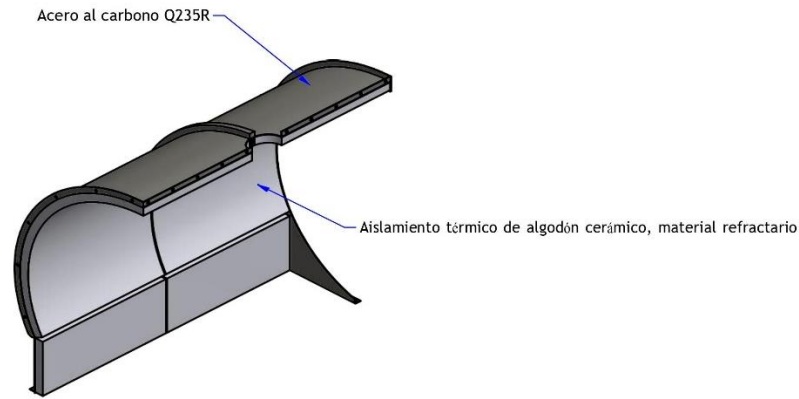
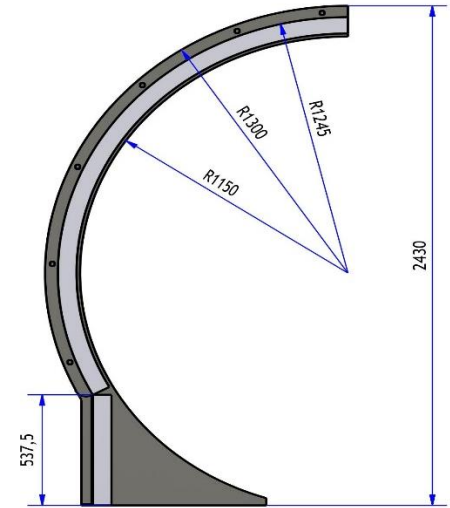
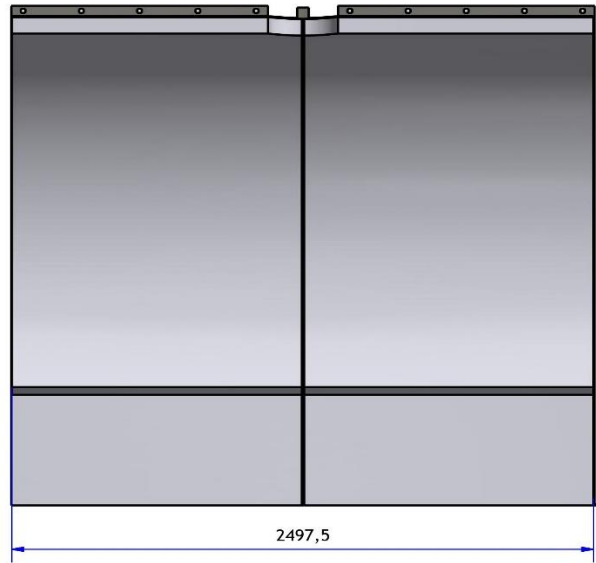
| | | | |
|---|---|--|-------------------|
| UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO | | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA | |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | | |
|  | HORNO PIROLITICO | | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | | Hoja 11 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | | A3 |




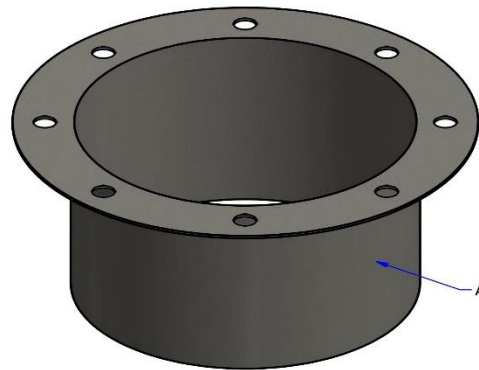
| | |
|--|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | |
| VISTAS DE HORNO PIROLITICO | Fecha: 04/07/2023 |
| Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 12 de 26 |
| Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |



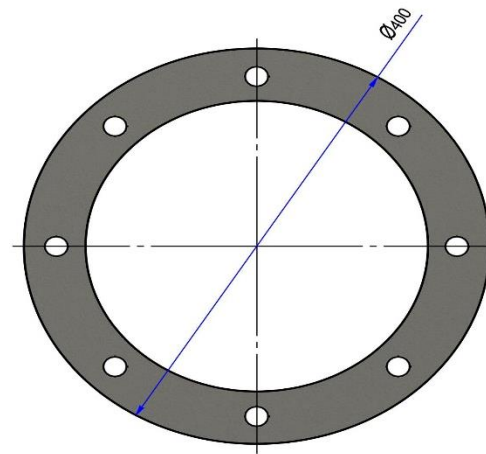
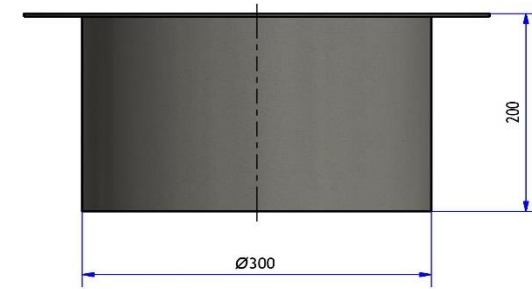
| | | |
|--|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | BASE DE REACTOR | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 13 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |




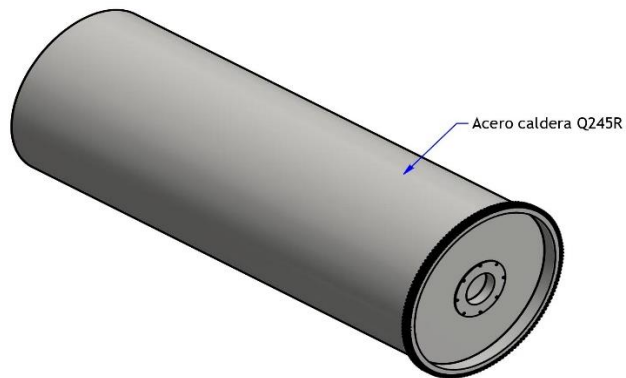
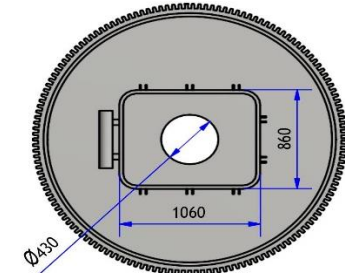
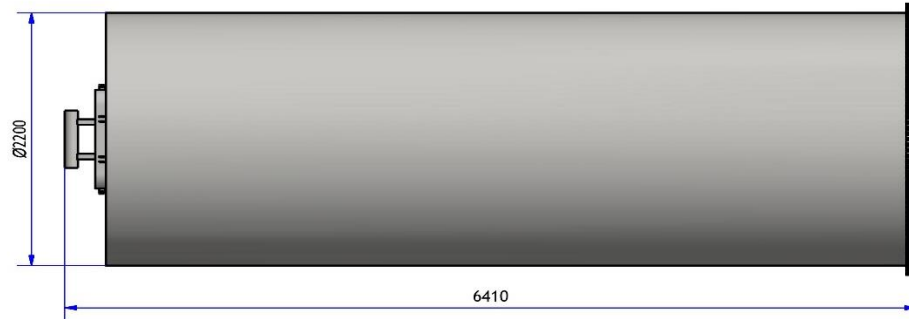
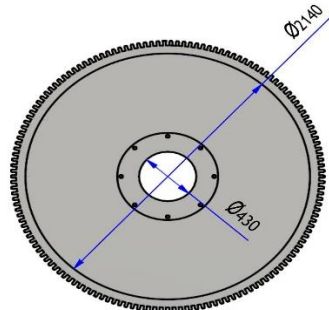
| | | |
|---|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | CARCASA REACTOR | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 14 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |




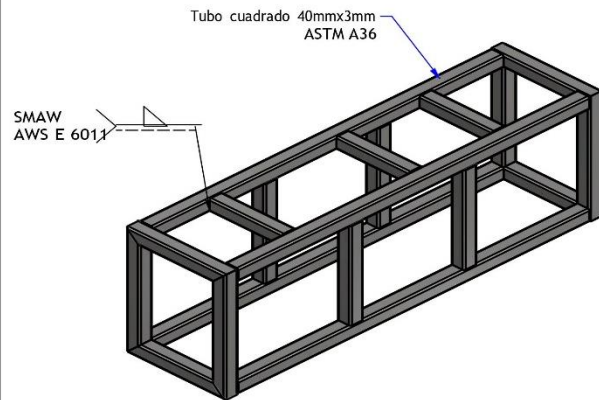
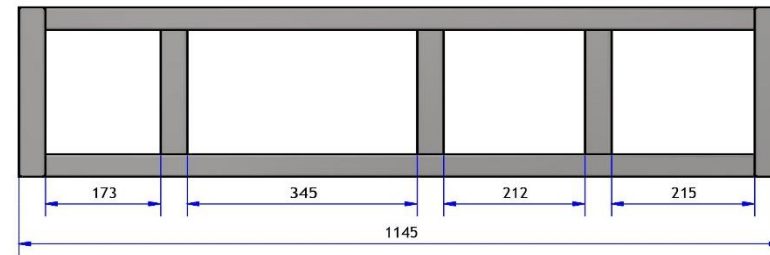
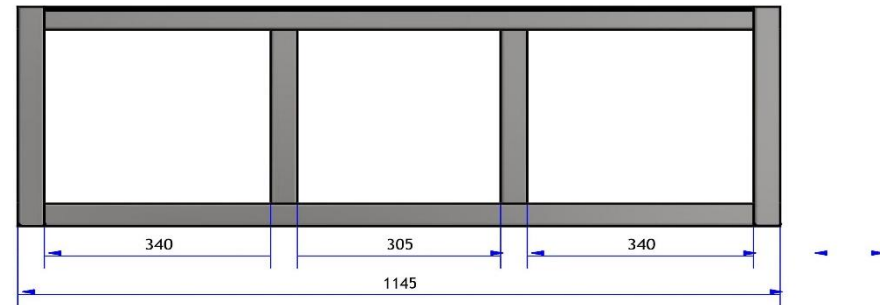
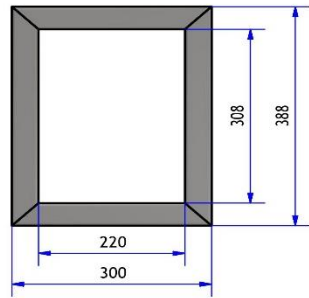
Acero al carbono Q235R



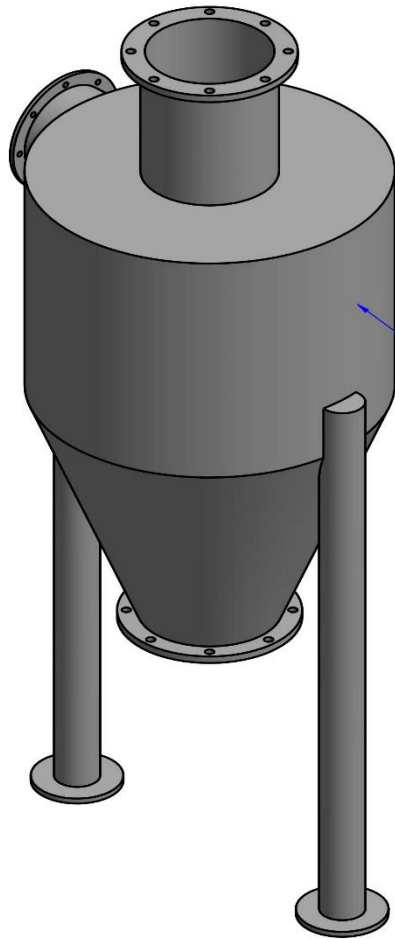
| | | |
|--|---|-------------------|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA | |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | TUBO DE SALIDA DE GAS DE ESCAPE | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 15 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |



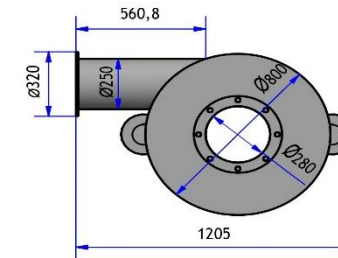
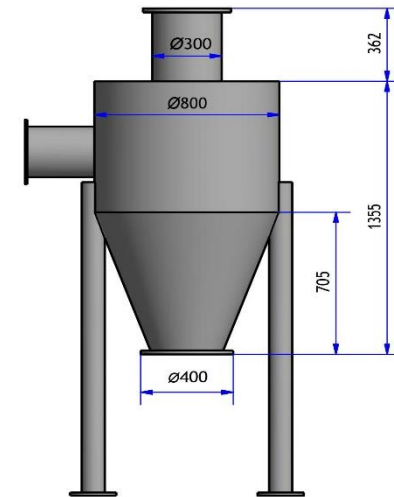
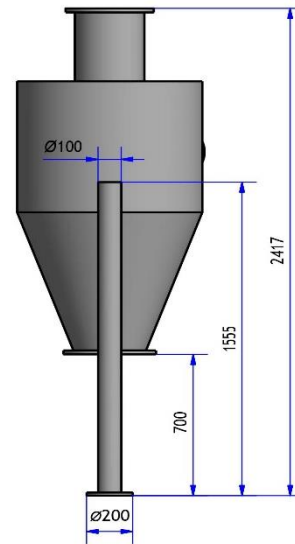
| | | |
|--|---|-------------------|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA | |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | REACTOR | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 16 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |




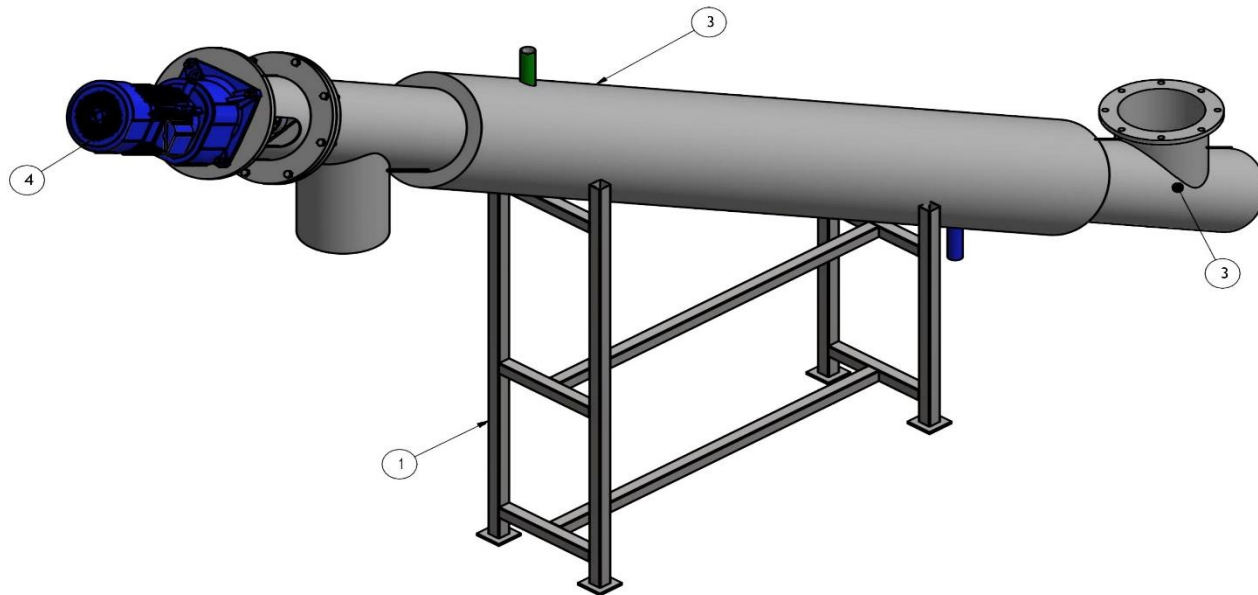
| | | |
|---|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
| | BASE DE MOTOR | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 17 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |



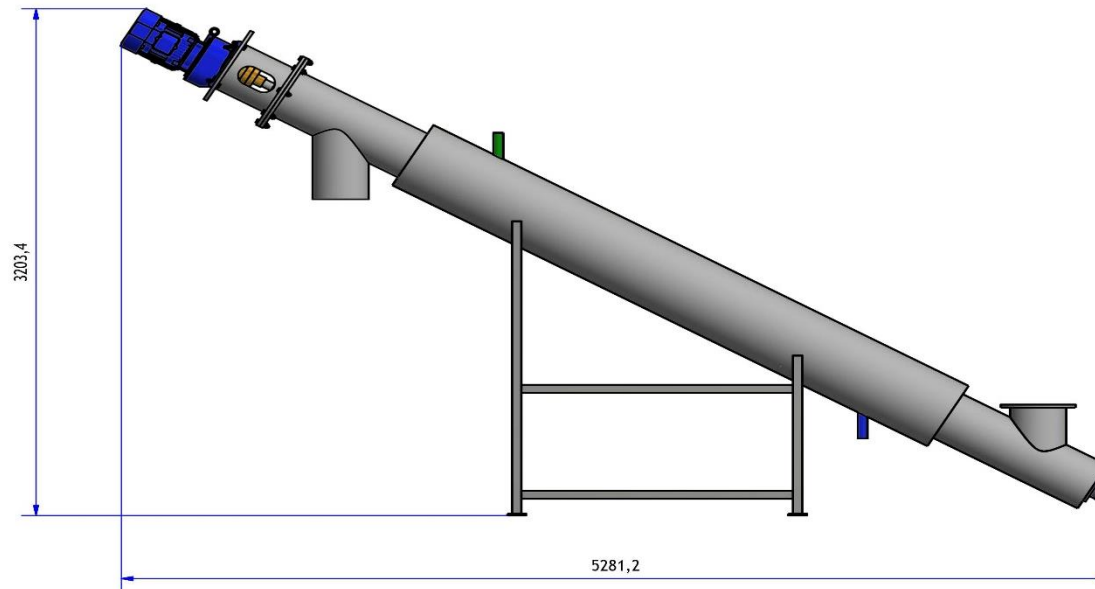
Acero al carbono Q235B




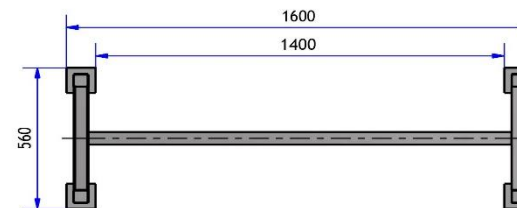
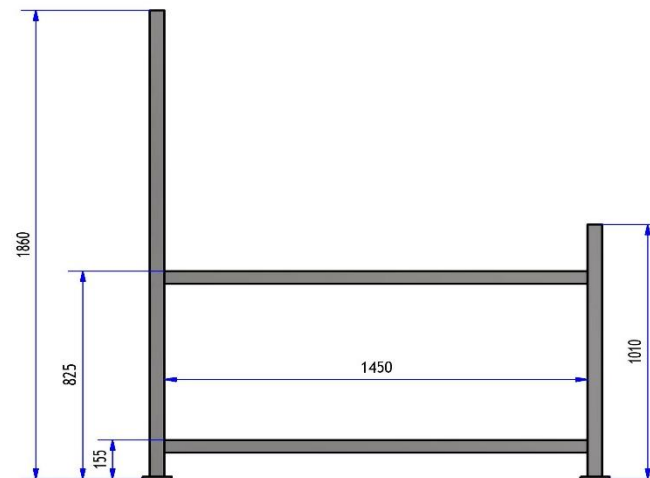
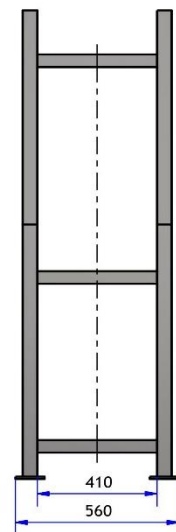
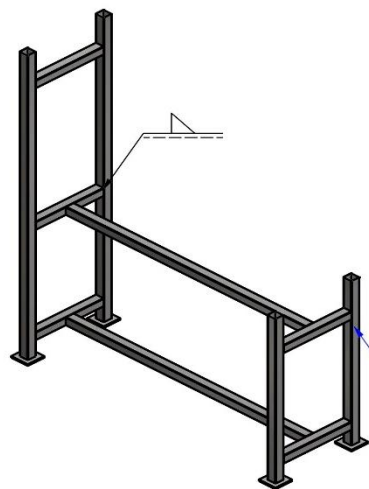
| | |
|--|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | |
|  | SEPARADOR DE CICLÓN |
| Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Fecha: 04/07/2023 |
| Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | Hoja 18 de 26 |
| | A3 |



| LISTA DE PIEZAS | | | |
|---|---|--|-------------------|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA | DESCRIPCIÓN |
| 1 | 1 | Base tornillo sinfin refrigerado | |
| 3 | 1 | Carcasa de tornillo sinfin refrigerado | |
| 3 | 1 | Eje de tornillo sinfin | |
| 4 | 1 | Motor eléctrico 7.5kW | |
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA | |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | | |
|  | TORNILLO SINFIN REFRIGERADO | | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | | Hoja 19 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | | A3 |

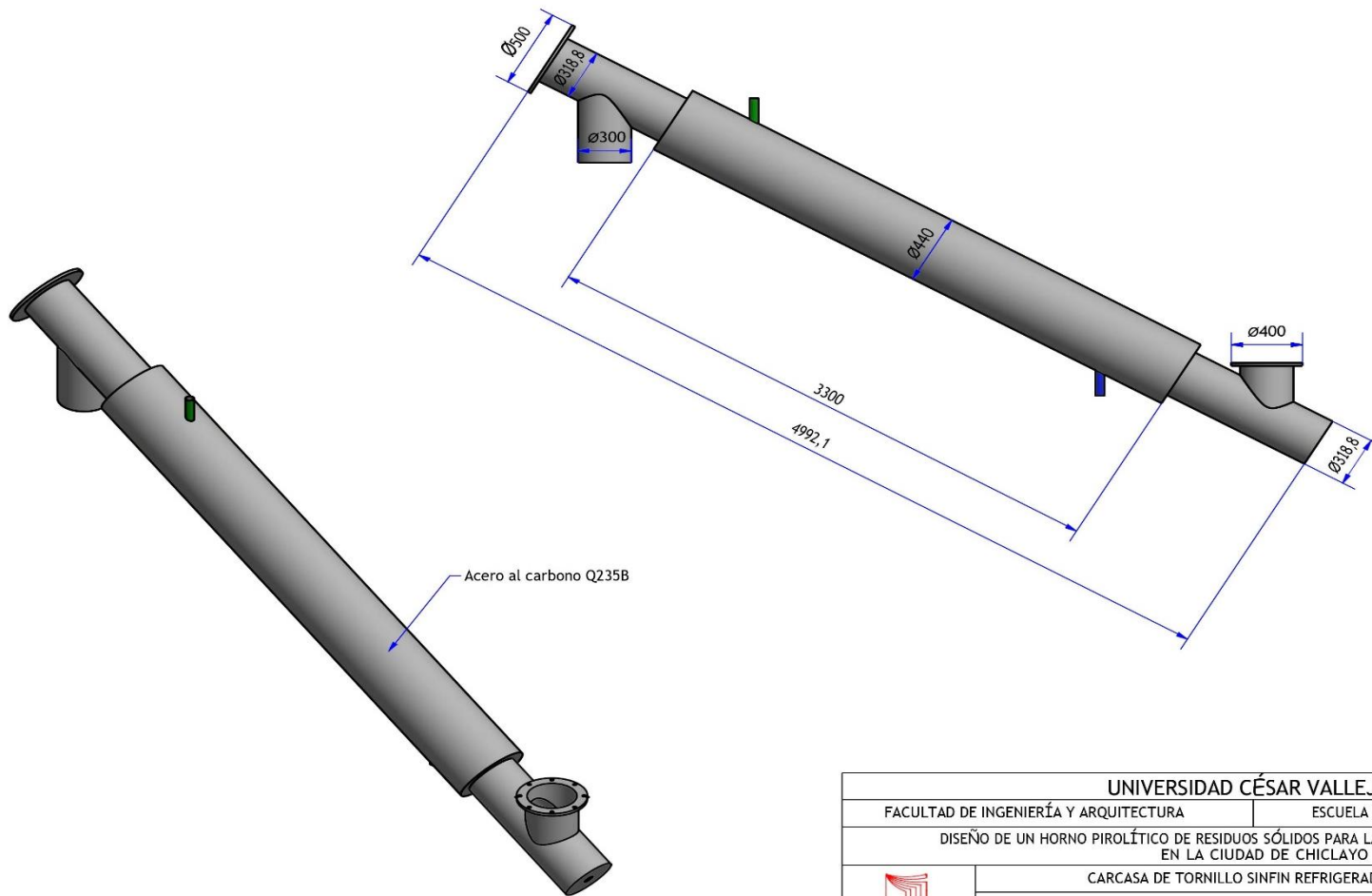



| | | |
|--|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | VISTA LATERAL DE TORNILLO SINFIN REFRIGERADO | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 20 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |

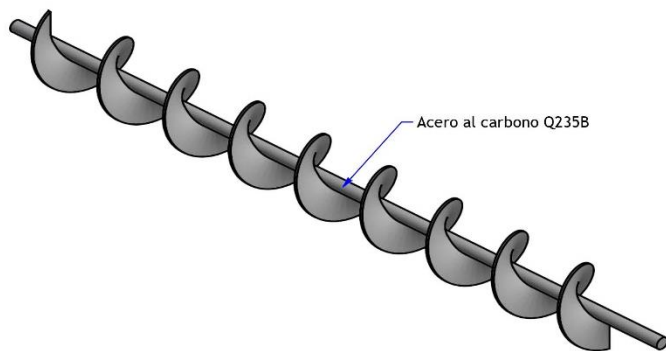
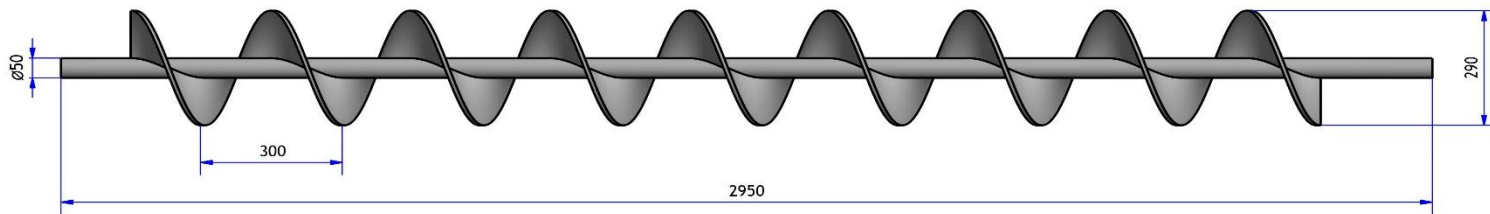



Tubo cuadrado 50mmx3mm
Q235B

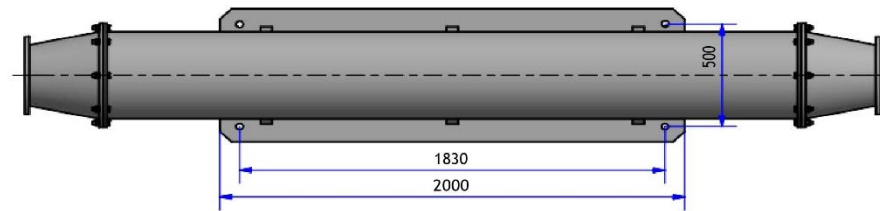
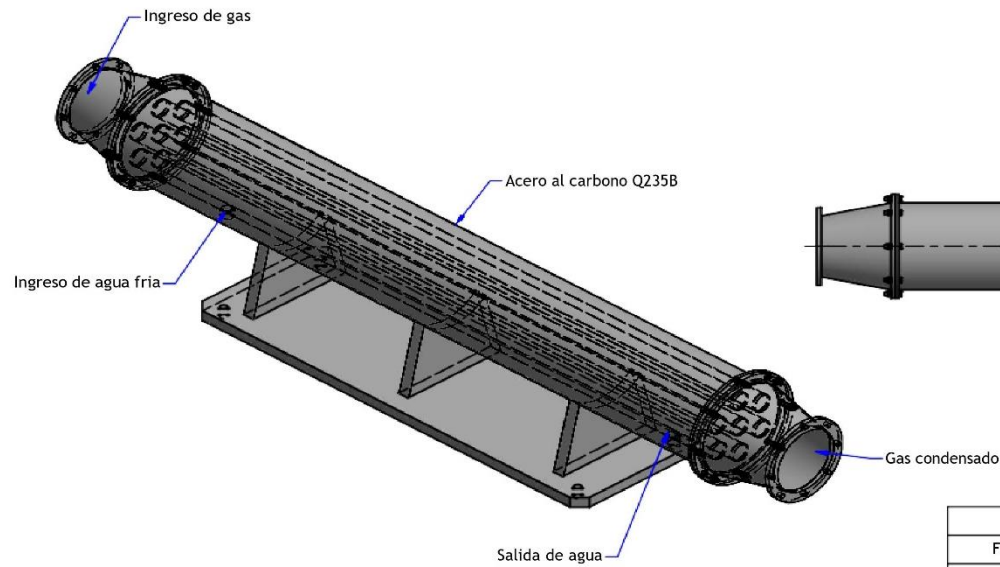
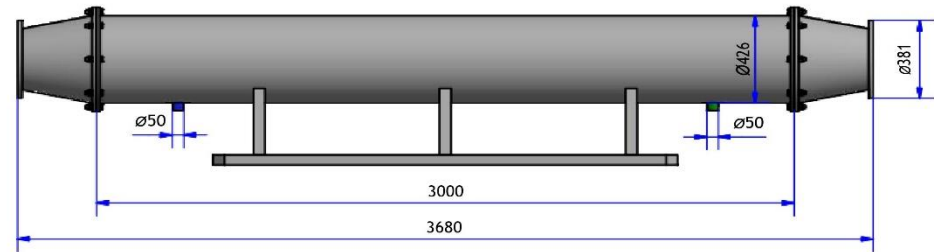
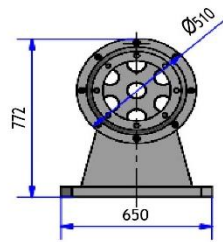
| | |
|--|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | |
| BASE TORNILLO SINFIN REFRIGERADO | Fecha: 04/07/2023 |
| Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 21 de 26 |
| Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |




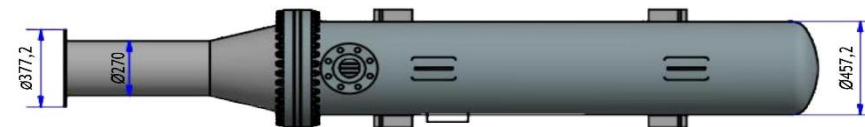
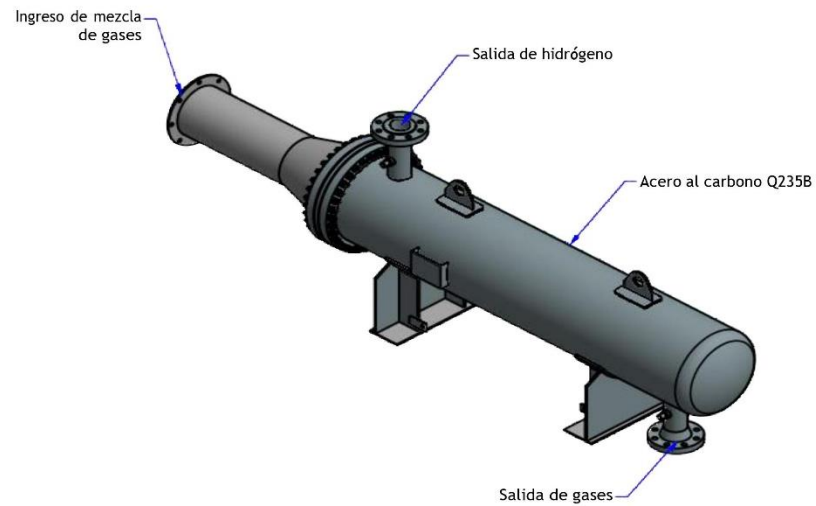
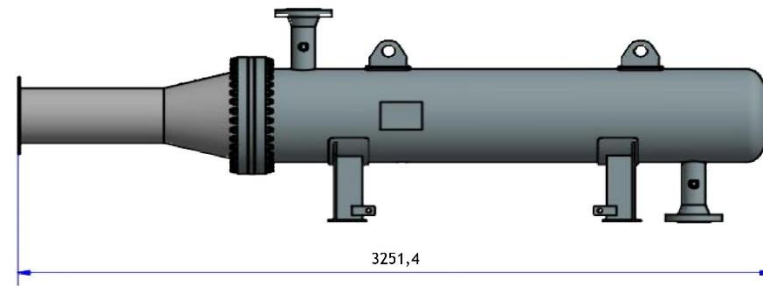
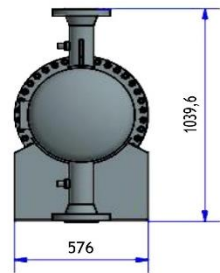
| | | |
|--|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | CARCASA DE TORNILLO SINFIN REFRIGERADO | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 22 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |




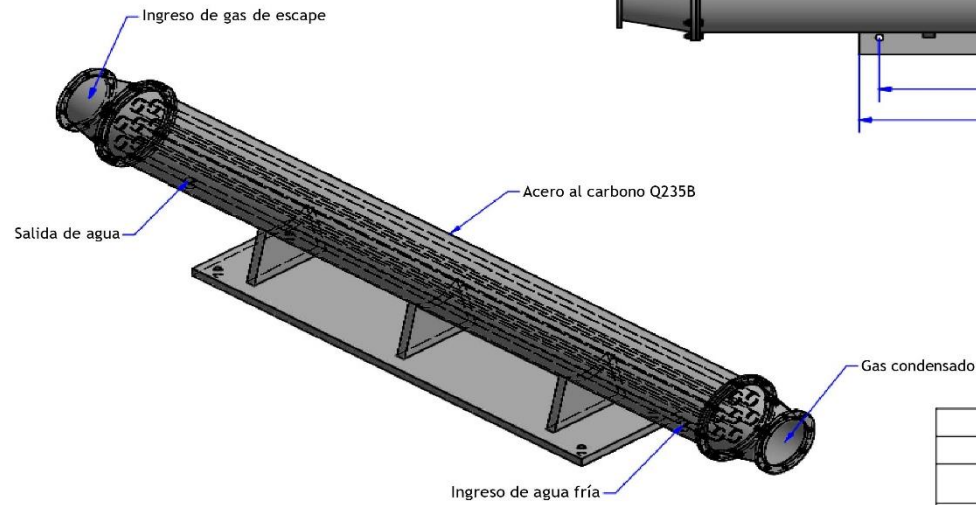
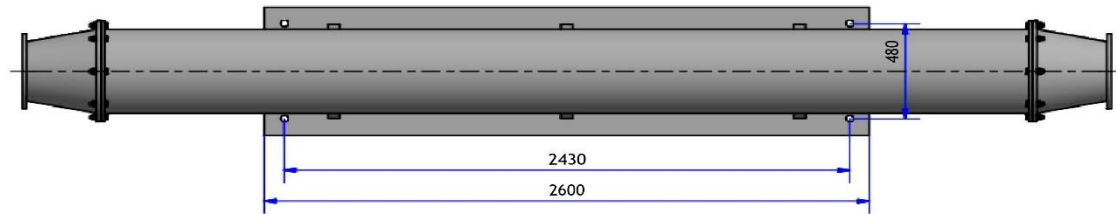
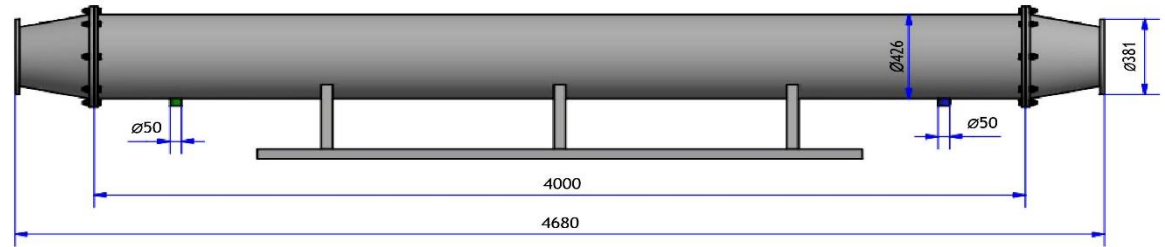
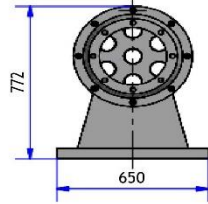
| | | | |
|--|---|--|-------------------|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA | |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | | |
|  | EJE DE TORNILLO SINFIN | | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | | Hoja 23 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | | A3 |




| | | | |
|---|---|--|-------------------|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA | |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | | |
|  | CONDENSADOR HORIZONTAL 1 | | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | | Hoja 24 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | | A3 |



| | | | |
|---|---|--|-------------------|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA | |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | | |
|  | SEPARADOR DE GASES (MEMBRANA) | | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | | Hoja 25 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | | A3 |



| | | |
|--|---|--|
| UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA | | ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA |
| DISEÑO DE UN HORNO PIROLÍTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO EN LA CIUDAD DE CHICLAYO | | |
|  | CONDENSADOR HORIZONTAL 2 | Fecha: 04/07/2023 |
| | Dibujado por: Carrión Custodio Alan y Cajusol Tumes Diego | Hoja 26 de 26 |
| | Aprobado por: Dávila Hurtado Freddy | A3 |



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, DAVILA HURTADO FREDY, 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 un horno pirolítico de residuos solidos para la obtención de hidrógeno, en la ciudad de Chiclayo.", cuyos autores son CARRION CUSTODIO ALAN SALVADOR, CAJUSOL TUMES DIEGO DAVID, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, 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, 09 de Julio del 2023

| Apellidos y Nombres del Asesor: | Firma |
|---|---|
| DAVILA HURTADO FREDY DNI: 16670066 ORCID: 0000-0001-8604-8811 | Firmado electrónicamente por: FRDAVILAH el 18-07- 2023 15:35:11 |

Código documento Trilce: TRI - 0581229