



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y
METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA



DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN HORNO CUBILOTE PARA
DISMINUIR LA CONTAMINACION DEL SUELO EN LA
CIUDAD DE JULIACA-REGIÓN PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. WILBER RANDY CCOPA MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2024



WILBER RANDY CCOPA MAMANI

DISEÑO E INSTALACION DE UN HORNO CUBILOTE

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:412885044

Fecha de entrega
5 dic 2024, 8:07 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
5 dic 2024, 8:11 a.m. GMT-5

Nombre de archivo
TESIS diseño e instalacion.pdf

Tamaño de archivo
2.6 MB

72 Páginas

16,829 Palabras

91,993 Caracteres


J. ALBERTO MAMQUERA GIL
INGENIERO METALURGIISTA
CIP. 23909

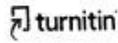



Dr. Hipólito Córdova
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA



Página 1 of 75 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid::8254:412885044



4% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 3% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

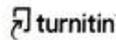
No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

J. ALBERTO MAQUERA GIL
INGENIERO METALÚRGICA
CIP. 23909

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIONES
UNA - PUNO
Hipólito Córdova Gutiérrez
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA





DEDICATORIA

A dios, por guiar mi camino y protegerme en los momentos más difíciles, por estar siempre en los buenos y malos momentos de mi vida.

A mis padres Fernando Ccopa Quispe y Brígida Mamani Ventura por su apoyo incondicional, sacrificio y amor sincero, fueron las claves de mi éxito durante mi formación profesional, gracias por inculcarme el respeto, honestidad y humildad.

A mi hermano Rodolfo que siempre estuvo conmigo, fue mi ángel durante los años de mi formación.

A mis hermanas Maribel, Yessica, Noemi, Ana y mi hermano jhonatan, gracias por estar siempre apoyándome y motivándome para seguir adelante y no rendirme.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a dios por ser mi guía durante mi formación profesional, por darme sabiduría y fuerza para culminar de la mejor manera mi carrera y seguir cumpliendo mis metas.

Agradecer a mis padres por su amor incondicional y apoyo, siempre estuvieron en los momentos más difíciles, gracias a la confianza que tuvieron en mi para lograr mis objetivos, también agradecer a mis hermanas y mi hermano por brindarme su tiempo y apoyarme cuando más los necesitaba.

Agradezco sinceramente a mi asesor Mag. Julio Alberto Maquera Gil, por su apoyo constante y consejos que me ayudaron durante el proceso de mi proyecto.

Finalmente agradecer a mi alma mater, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica: Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica a la plana de docentes que me impartieron sus conocimientos y su amplia experiencia para terminar de la mejor manera mi formación profesional.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2 PROBLEMA.....	19
1.2.1 Problema general.....	20
1.2.2 Problemas específicos	20
1.2.3 Justificación de la investigación.....	20
1.2.4 Justificación teórica.....	21
1.2.5 Justificación practica	21
1.2.6 Justificación social	21
1.2.7 Justificación económica	22
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.3.1 Hipótesis general	22
1.3.2 Hipótesis específicas	22
1.4 OBJETIVOS.....	22



1.4.1	Objetivo general	22
1.4.2	Objetivos específicos.....	23

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTES	24
2.2	BASES TEÓRICAS	26
2.2.1	Suelo.....	26
2.2.2	Contaminación de suelos.....	27
2.2.3	Fuentes de contaminación	28
2.2.4	Contaminación ambiental.....	28
2.2.5	Contaminación por aglomeración de basura	28
2.2.6	Contaminación por residuos metálicos (chatarra).....	29
2.2.7	Gestión de residuos	30
2.2.8	Historia y Evolución del Horno Cubilote.....	31
2.2.8.1	Orígenes	31
2.2.8.2	Diseño y Funcionamiento Inicial	31
2.2.8.3	Avances en el Siglo XIX.....	31
2.2.8.4	Innovaciones del Siglo XX	31
2.2.8.5	Principios de Funcionamiento del Horno Cubilote	32
2.2.8.6	Funcionamiento del cubilote	36
2.2.8.7	Componentes y Estructura del Horno Cubilote.....	39
2.2.8.7.1	Estructura del Horno Cubilote	39
2.2.8.7.2	Reacciones de combustión en el horno de cubilote .	42
2.2.8.8	Variables Críticas en el Diseño del Horno Cubilote	43



2.2.8.8.1	Área Usada y Longitudes	43
2.2.8.8.2	Ventilador (Área de la Tubería, Presión y Temperatura)	44
2.2.8.8.3	Temperatura en la Zona de Fusión.....	44
2.2.8.8.4	Materias Primas (Cantidades a Fundir)	45
2.2.8.8.5	Gases de Chimenea (Contaminación Ambiental y Temperatura)	46
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	47
2.3.1	Horno Cubilote.....	47
2.3.2	Residuos Metálicos	48
2.3.3	Fusión.....	49
2.3.4	Combustible	51
2.3.5	Temperatura de Operación	52
2.3.6	Expansión térmica.....	53
CAPÍTULO III		
METODOLOGÍA		
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	54
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	54
3.3	ESCENARIO DE ESTUDIO	55
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	56
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	57
3.5.1	Muestreo probabilístico:.....	57
3.6	ANÁLISIS DE DATOS	65
CAPÍTULO IV		
MATERIALES Y MÉTODOS		
4.1	MATERIALES.....	66



4.2	LADRILLOS REFRACTARIOS	66
4.3	FIBRA CERÁMICA	67
4.4	CEMENTO REFRACTARIO	68
4.5	PLACA DE ACERO	69
4.6	TAPA DE HIERRO FUNDIDO	70
4.7	RECURSOS NECESARIOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL HORNO DE CUBILOTE	70
4.7.1	Coque	71
4.7.2	Piedra Caliza	71
4.7.3	Materiales que puede fundir el horno de Cubilote	72
4.7.3.1	Temperatura máxima del horno	72
4.7.3.2	Temperatura máxima del horno	72
4.7.3.3	Consideraciones para el horno de cubilote:	73
4.7.3.4	Materiales para Análisis	74
4.8	MÉTODOS	77
4.8.1	Modelado en CAD:	77
4.8.2	Extrusión de los planos 2D a un modelo 3D en SolidWorks	78
4.8.3	Capacidad del Horno en Base a la Densidad del Material:	78
4.9	EVALUACIÓN DE PARÁMETROS OPERATIVOS:	80

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1	RESULTADOS.....	82
VI.	CONCLUSIONES	87
VII.	RECOMENDACIONES	88
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90



ANEXOS..... 94

Área: Metalurgia transformativa

**Tema: DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN HORNO CUBILOTE PARA
DISMINUIR LA CONTAMINACION DEL SUELO EN LA CIUDAD DE
JULIACA-REGIÓN PUNO**

Fecha de sustentación: 12/12/24



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 “Esquema 1”	32
Figura 2 “Esquema 2”	35
Figura 3 “Herramientas”	39
Figura 4 “Esquema 3”	42
Figura 5 “Esquema 4”	48
Figura 6 “Mapa”	56
Figura 7 “Ladrillo refractario”	67
Figura 8 “Fibra cerámica”	68
Figura 9 “Cemento refractario”	69
Figura 10 “Tapa”	70
Figura 11 “Modelado del Horno en AutoCAD”	83
Figura 12 “Plano de Tapa”	83
Figura 13 “Tapa del Horno”	84
Figura 14 “Modelado del Horno en SolidWorks”	84
Figura 15 “Carga de chatarra”	85
Figura 16 “Carga de coque”	85
Figura 17 “Carga de caliza”	86



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 “Variables”	47
Tabla 2 “Diseño”	82
Tabla 3 “Operación”	82



ACRÓNIMOS

AHSS.	Acero Avanzado de alta resistencia
CO.	Monóxido de carbono
HSLA.	Acero de baja aleación de alta resistencia
INEI.	Instituto Nacional de Estadística e Informática
PVC.	Policloruro de Vinilo
SENAPA.	Servicio Nacional de Agua Potable y Alcantarillado
SO ₂ .	Dióxido de azufre



RESUMEN

La generación de residuos metálicos es producto de la actividad humana y el desarrollo industrial. En la ciudad de Juliaca debido a su geografía y demografía además de una mala gestión de residuos sólidos, cerca de 60 toneladas de basura terminan en ríos, áreas verdes y zonas comunes, afectando al medio ambiente. El presente trabajo de investigación tiene como finalidad diseñar e instalar un horno cubilote para disminuir la contaminación de chatarra en la ciudad de Juliaca, mediante el acopio y segregación organizada de residuos metálicos, tratando principalmente residuos metálicos de acero y aluminio reduciendo así el volumen de desechos generados diariamente. La metodología aplicada nos permitió diseñar un horno cubilote con una capacidad de tratar 2 toneladas de residuos metálicos por carga con una eficiencia del 90%, utilizando una distribución de 70% de chatarra, 25% coque y 5% caliza. Para la toma de muestras se utilizó la observación y recolección de fotografías de distintos puntos de la ciudad de Juliaca donde era más evidente la concentración de residuos metálicos identificando se 29 especies de metales y por medio de revisión bibliográfica se logró vincular con su composición, tipo y designación de metal, esto con el fin de realizar una caracterización de la muestra a tratar. Siendo está en su mayoría acero de bajo carbono y aluminio, con bajos porcentajes estaño, cromo y níquel. Mediante el estudio bibliográfico, el diseño en AutoCAD y el modelamiento en SolidWorks, el presente horno diseñado en este trabajo de investigación demostró que puede reducir entre un 2 a un 5% la contaminación por residuos sólidos en la ciudad de Juliaca.

Palabras Clave: Diseño, Contaminación, Horno Cubilote, Residuos Metálicos, Acero.



ABSTRACT

The generation of metal waste is a product of human activity and industrial development. In the city of Juliaca, due to its geography and demographics, as well as poor solid waste management, about 60 tons of garbage end up in rivers, green areas and common areas, affecting the environment. The purpose of this research work is to design and install a cupola furnace to reduce scrap pollution in the city of Juliaca, through the organized collection and segregation of metal waste, treating mainly steel and aluminum metal waste, thus reducing the volume of waste generated daily. The methodology applied allowed us to design a cupola furnace with a capacity to treat 2 tons of metal waste per load with an efficiency of 90%, using a distribution of 70% scrap, 25% coke and 5% limestone. For the sampling, observation and collection of photographs from different points of the city of Juliaca were used, where the concentration of metallic waste was more evident, identifying 29 species of metals and through bibliographical review, it was possible to link their composition, type and metal designation, this in order to perform a characterization of the sample to be treated. It is mostly low carbon steel and aluminum, with low percentages of tin, chromium and nickel. Through the bibliographical study, the design in AutoCAD and the modeling in SolidWorks, the present furnace designed in this research work demonstrated that it can reduce between 2 to 5% the contamination by solid waste in the city of Juliaca.

Keywords: Design, Contamination, Cupola furnace, Metallic waste, Steel.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural de gran importancia, dado los beneficios, que ofrece al hombre (Burbano, 2026), dentro de los que destaca la disponibilidad de agua y la mitigación del cambio climático (Bedoya Gómez et al., 2021). Este servicio viene siendo afectados por la mala disposición de chatarra en el suelo. Estos materiales provocan la contaminación del suelo debido a la emisión de metales pesados como Hg, Zn, Ni, Cd, Pb y Mn (Prosperi, 2005). La inadecuada disposición de residuos, constituye una problemática ambiental, ya que los metales acumulados en la superficie tienden a ser absorbidas por las plantas y lixiviarse contaminando las fuentes de agua subterránea y alimentos que en él se desarrollen.

En las últimas décadas la ciudad de Juliaca ubicada en la región Puno, ha experimentado un crecimiento industrial significativo, si bien esto ha contribuido con el desarrollo de la economía local, también ha generado un aumento alarmante en la producción de residuos metálicos los cuales representan un serio riesgo para el medio ambiente y la salud pública. Los residuos metálicos, provenientes en su mayoría de la industria metalúrgica y de actividades informales como el reciclaje y la chatarrería, han contaminado los suelos, cuerpos de agua y el aire de la ciudad, afectando tanto la calidad de vida de los habitantes como la biodiversidad de la región.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Juliaca es la ciudad más poblada de la región Puno y la decimotercera en el Perú. Su ubicación geográfica la ha convertido en el eje comercial del sur del país, esto ha traído un gran desarrollo económico y un aumento drástico en su demografía.

Juliaca es la sexta ciudad del país en términos de producción de basura, según



información proporcionada por la Gerencia de Recursos Naturales del Gobierno Regional de Puno. Produciendo alrededor de 200 toneladas de basura por día, si bien la Municipalidad Provincial de San Román es la encargada de recolectar dichos desechos, solo recogen cerca del 70% de los mismos, el resto va a las calles, áreas verdes, ríos y demás puntos dentro de la región (Zea,2023).

Cerca del 5% de los residuos sólidos presentes son de contenido metálico, que se pueden encontrar en llantas, colchones, calaminas, cocinas a gas, vehículos, etc. Estos desechos metálicos pueden segregarse en el suelo, óxidos y carbonatos. El potencial tóxico de estos componentes y el impacto ambiental generado por estos desechos supone un riesgo para la salud de los ciudadanos de la ciudad de Juliaca (Chicharro,1998).

Es alarmante el incremento de metales pesados en el suelo y su presencia está relacionada con el almacenamiento de chatarra.

La chatarra metálica ofrece numerosas ventajas debido a su capacidad de ser reutilizada de manera eficiente y sostenible. Al reciclar metales, se reduce significativamente la necesidad de extraer nuevos minerales, lo que disminuye el impacto ambiental asociado a la minería y a la producción de metales desde materias primas vírgenes. Además, el reciclaje de chatarra requiere menos energía que la producción de nuevos metales, lo que contribuye a una menor emisión de gases de efecto invernadero y a la preservación de recursos naturales. La reutilización de estos materiales no solo ayuda a reducir la acumulación de residuos, sino que también representa una fuente económica valiosa, ya que los metales reciclados pueden ser empleados en diversas industrias, desde la construcción hasta la manufactura de productos electrónicos, promoviendo una economía circular más eficiente y sostenible.



Aprovechando dichas capacidades mediante un horno de cubilote podemos transformar la chatarra en lingotes, láminas y planchas de acero dándole así un segundo uso a aquellos que en un inicio fueron considerados desperdicios. Reduciendo la aglomeración de basura, la contaminación al medio ambiente y generando a su vez un beneficio a la localidad.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciudad de Juliaca, en la región Puno, enfrenta una problemática crítica relacionada con la acumulación masiva de residuos metálicos, debido a la falta de infraestructura y tecnología adecuada para el procesamiento y reciclaje de la chatarra metálica. Esta deficiencia en la gestión de los residuos ha incrementado considerablemente los niveles de contaminación del suelo por metales pesados que se solubilizan y pasan a formar parte de la superficie del suelo. Estos residuos pueden ser reutilizados mediante la aplicación de tecnologías adecuadas evitando la contaminación del suelo e interviene positivamente en la economía local.

Uno de los principales factores que contribuyen a este problema es la mala gestión de residuos sólidos, ya que aproximadamente el 30% de estos residuos no se tratan adecuadamente y terminan acumulándose de manera constante, generando efectos nocivos en el ecosistema. La magnitud del problema es significativa: la ciudad produce cerca de 60 toneladas de desechos por día, lo que equivale a un total de 21,600 toneladas al año. Estos residuos, en su mayoría chatarra metálica, se dispersan por la ciudad, contaminando el aire, el suelo y las fuentes de agua.

La carencia de sistemas eficientes para el manejo de estos residuos metálicos no sólo causa un deterioro ambiental evidente, sino que también genera una pérdida económica para la comunidad. Los residuos metálicos representan un recurso valioso



que podría ser reciclado y reutilizado en diversas industrias. Sin embargo, debido a la falta de infraestructura y conocimientos técnicos, no se aprovechan adecuadamente.

La deplorable situación que presenciamos actualmente sobre la acumulación de residuos sólidos se remonta a administraciones municipales anteriores. desde el año 2003, cuando se comenzó a usar el área de Chilla, cercana al vivero forestal y a las lagunas de oxidación de la empresa de agua, que en un inicio fue SENAPA y luego cambió a SEDA JULIACA S.A. Con el pasar de los años, la situación se agravó debido a la creciente contaminación ambiental de la zona, ya que convirtieron la zona en un simple vertedero (Bustamante,2019).

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar una solución tecnológica innovadora que permita mitigar el impacto ambiental y aprovechar el valor económico de estos residuos. Una propuesta viable es el desarrollo de un horno cubilote, una herramienta eficaz para el procesamiento de chatarra metálica. Este tipo de horno permite fundir y reciclar residuos metálicos, transformándolos en materias primas útiles para diversas industrias. La implementación de esta tecnología no solo contribuiría a la reducción de la contaminación, sino que también fomentaría el desarrollo económico local a través de la reutilización de recursos.

Por lo tanto, el desarrollo de un horno cubilote eficiente en Juliaca se presenta como una solución clave para abordar tanto la problemática medioambiental como el desperdicio de recursos, creando un sistema sostenible para la gestión de residuos metálicos.

1.2 PROBLEMA



1.2.1 Problema general

¿Cómo diseñar e instalar un horno cubilote para disminuir la contaminación del suelo en la ciudad de Juliaca – Región Puno?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la capacidad de carga, tipo y grosor de material refractario, número y tamaño de toberas, potencia y presión de soplado de aire y el tipo de combustible del horno cubilote para asegurar su eficiencia en el procesamiento de residuos metálicos?
- ¿Qué especificaciones técnicas son óptimas para el diseño de un horno cubilote que pueda operar eficazmente?
- ¿En qué volumen disminuye la chatarra metálica para disminuir la contaminación del suelo?

1.2.3 Justificación de la investigación

El presente proyecto de investigación genera un importante aporte al conocimiento científico tecnológico porque busca disminuir la contaminación de las aglomeraciones de chatarra que son recurrentes en la ciudad de Juliaca. El tema económico propuesto es muy rentable debido al costo del proceso y rendimiento del horno controlando los parámetros, mediante el diseño de un horno cubilote permitirá determinar las variables operativas para este horno, con la finalidad de disminuir el volumen de los residuos metálicos que conlleva a disminución de la chatarra, mediante acopios organizados que permiten la segregación de este tipo de residuos en toda la ciudad de Juliaca. Este trabajo permitirá a definir las variables operativas y presentar una solución en la



disminución de la contaminación, además de generar un valor agregado a los residuos metálicos en reposición, llegará a ofrecer mayores fuentes de trabajo y mejorar la calidad de vida de la población.

1.2.4 **Justificación teórica**

El diseño del horno cubilote se basa en los principios de combustión, como la oxidación y la reducción, para minimizar la emisión de gases contaminantes, el horno cubilote utiliza la transferencia de calor por convección, radiación y conducción para optimizar la combustión y reducir la contaminación.

1.2.5 **Justificación practica**

El horno cubilote está diseñado para reducir las emisiones de gases contaminantes, como el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NOx) así también busca optimizar la eficiencia energética, reduciendo el consumo de combustible y minimizando la generación de residuos metálicos, está diseñado para ser fácil de mantener y reparar, lo que reduce los costos operativos y aumenta la disponibilidad del horno cubilote.

1.2.6 **Justificación social**

Reduce la contaminación del suelo, lo que contribuye a la protección del medio ambiente y la salud pública, la reducción de la contaminación del suelo contribuye a la mejora de la calidad de vida de las comunidades cercanas a la instalación, el horno cubilote esta diseñado para cumplir con las regulaciones ambientales y los estándares de calidad del aire y del suelo.



1.2.7 **Justificación económica**

El diseño del horno cubilote busca reducir los costos operativos, como el consumo de combustible y la generación de residuos para generar un alto rendimiento, también busca extender la vida útil del equipo, lo que reduce los costos de mantenimiento.

1.3 **HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

1.3.1 **Hipótesis general**

Con el diseño e instalación de un Horno Cubilote disminuye la chatarra metálica en la ciudad de Juliaca Región Puno.

1.3.2 **Hipótesis específicas**

- Determinando la capacidad de carga, tipo, grosor de material refractario, número y tamaño de toberas, potencia y presión de soplado de aire y el tipo de combustible, ¿asegura su eficiencia en el Horno Cubilote?
- ¿Determinando las especificaciones técnicas óptimos mejora el diseño de un horno Cubilote?
- ¿Determinando el volumen de chatarra metálica se puede disminuir la contaminación del suelo?

1.4 **OBJETIVOS**

1.4.1 **Objetivo general**

Diseñar e instalar un horno cubilote para disminuir la contaminación del suelo en la ciudad de Juliaca – Región Puno



1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la capacidad de carga, tipo, grosor de material refractario, número y tamaño de toberas, potencia, presión de soplado de aire y el tipo de combustible, para asegurar su eficiencia en el Horno Cubilote
- Determinar las especificaciones técnicas si son óptimos para el diseño de un Horno Cubilote
- Determinar el volumen que disminuye la chatarra metálica para disminuir la contaminación del suelo



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Vilca (2020) en el reporte trimestral del Observatorio de Conflictos habla sobre la capacidad operativa de las celdas transitorias de Huanuyo, provincia de San Román a fin de apaciguar la contaminación generada por residuos sólidos este proyecto debía constar de dos celdas con una vida útil de 18 meses. Sin embargo, solo se construyó una celda con una capacidad de 94393.70 m³ con una vida útil de 7.5 meses, que generó resultados insuficientes ya que colapsara a finales del 2020. Así mismo a finales de dicho año se detectaron residuos sólidos como plásticos, botellas, colchones, llantas, cerca del cauce del río Cabanillas. Dicha situación provocaría la contaminación del agua que discurre en temporada de precipitaciones, afectando la salud de la población asentada bajo el río seco.

Medina y Taco (2009) en su tesis diseño y construcción de un horno cubilote con aire precalentado para fines didácticos, indica que de acuerdo a sus dimensiones y parámetros funcionales se halla dirigido a la práctica estudiantil y sobre todo al impartir el estudio y análisis de la fundición gris, también se halla que con el precalentamiento del aire a los 300 °C durante la operación de un cubilote de 23 cm de diámetro interno se logra un ahorro de coque de 30%, aumentando así la eficiencia del mismo durante el proceso de fusión, para finalizar llegaron a comprobar la manera adecuada de operar el horno y se necesita 4 personas, los cuales deben estar distribuidos de manera adecuada: tres en la piqueta de sangrado para el flujo de metal fundido y un (a) en la piqueta de escoriado para controlar el flujo de escoria en la misma y para la colocación de las cargas.



Lezameta y Zúñiga (1991) en su tesis diseño y construcción de un horno de cubilote, indica que el cubilote es un horno que funciona con combustible sólido y en el cual la carga metálica, el combustible y el fundente se cargan por la parte superior, el horno tiene un intercambiador térmico directo y apto por lo tanto, un rendimiento elevado, sin embargo y por causa de los residuos contenido entre el metal, las cenizas y el oxígeno el hierro colado producido por este horno es ligeramente controlado desde el punto de vista metalúrgico.

Bran (2021) en su tesis diseño de un horno cubilote para uso didáctico, indica que el horno cubilote diseñado es apto de padres o desmontable permite realizar la operación de mantenimiento apropiadamente, lo cual es de fundamental importancia ya que ello permite obtener una larga vida útil del horno, recalca que de acuerdo con sus dimensiones y parámetros funcionales se halla exclusivamente para laboratorios con el fin de pruebas de materias blanca y gris.

Bautista y Sandoval (1991) en su tesis diseño y construcción de un horno cubilote a nivel de laboratorio, hallaron que el horno cubilote diseñado permite garantizar bajos volúmenes de acero fundido con una calidad aceptable, mínimo consumo de los materiales refractarios para la construcción y la característica desmontable del horno facilita el mantenimiento en un determinado tiempo, también se puede observar que los factores que influyen de forma determinante en la fusión de metales dentro del horno cubilote son el diseño del crisol, las dimensiones de la caja de viento, número de toberas, composición química de la carga metálica y la composición química del coque.

Ramos (2009) en su tesis diseño del plan de manejo ambiental 2009-2010 para la empresa de fundición idea Ltda., menciona que se establecieron indicadores que están descritos dentro de los programas ambientales, los cuales permiten cuantificar el



cumplimiento ambiental actual en la empresa de fundición, se formularon medidas de manejo ambiental dentro del marco de programas ambientales las cuales ayudaron a contribuir con el mejoramiento ambiental de la empresa de fundición y el medio ambiente, por último para conocer los cálculos de emisión de gases que genera la empresa por parte del horno cubilote, se tomó que los factores de emisión es el cálculo más acertado a la realidad como son los muestreos isocinéticos.

Morales (2019) en su tesis impacto del diseño del cubilote y uso del combustible en la calidad de las fundiciones grises del norte peruano, menciona que entre los defectos que puedan presentarse son: sopladuras o cavidades, inclusiones, fundición incompleta y superficies defectuosas, también indica que la falta de elementos como el orificio de escoriado, un mal estado de refractario y el material, indican sobre la presencia de escoria y contaminantes sólidos ya que al momento del vaciar, estos salen junto al caldo, por último la falta de aplicación de métodos de desulfuración y uso de ferroaleaciones para ajustar la composición química, en algunos casos se debe a la falta de conocimiento y/o dominio del procedimiento y en otros casos, porque las características de sus procesos y el aumento de los costos impiden su realización.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Suelo

El suelo es un recurso natural que presenta diversas funciones en el suelo ya que proporciona un soporte mecánico, así como nutrientes para el crecimiento de las plantas y microorganismos. La matriz del suelo está formada por: minerales (ocupan el 50% del volumen total del suelo), aire, agua, materia orgánica y organismos vivos (Voque,T.,2002).

Para Diaz,W.,(2016), el suelo es un sistema abierto, complejo,



autoorganizativo, estructural y polifuncional que se comporta como un filtro y es un soporte material de las plantas; por lo tanto, debe proporcionar un medio adecuado para la germinación de las semillas y el desarrollo de las raíces; buena aeración, buena capacidad de retención del agua y un régimen de circulación adecuado de las fases líquida y gaseosa dentro de los espacios porosos de la fase sólida.

2.2.2 Contaminación de suelos

La contaminación del suelo es un proceso que disminuye su capacidad y potencial para producir bienes. Y se asocia con la entrada de sustancias que, a partir de una cierta concentración deben considerarse como no deseables.

Los metales pesados son un grupo de metales y metaloides de masa relativamente alta ($>4,5 \text{ g/cm}^3$) como Pb, Cd, Cu, Hg, Sn y Zn, que pueden causar problemas de toxicidad; otros no metales como: Arsenico: As, antimonio (Sb) y selenio (Se), aparecen de forma natural en bajas concentraciones en suelos, pero muchos de ellos son micronutrientes esenciales para plantas, animales y humanos, y en concentraciones altas pueden causar fitotoxicidad y dañar la salud humana a causa de su naturaleza no biodegradable, que causa que se acumulen fácilmente en los tejidos y organismos vivos. En cuanto a la toxicidad los metales pesados, Zn, Ni, Co y Cu son relativamente más tóxicos para las plantas, y As, Cd, Pb, Cr y Hg son relativamente más tóxicos para los animales superiores.

En conclusión, la contaminación del suelo consiste en la introducción de elementos extraños al suelo o la existencia de un nivel inusual de uno propio que, por sí mismo o por su efecto sobre los restantes componentes, genera un



efecto nocivo para los organismos del suelo, sus consumidores, o es susceptible de transmitirse a otros sistemas.

2.2.3 Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación de metales pesados son las áreas industriales, los estériles de minas, la eliminación de desechos con alto contenido metálico, la gasolina y las pinturas con plomo, la aplicación de fertilizantes, el estiércol, los lodos de depuradora, los plaguicidas, la irrigación con aguas residuales, los residuos de combustión de carbón.

2.2.4 Contaminación ambiental

Como bien lo define el Ministerios del Ambiente en Cayra (2024), se refiere a la interacción de componentes químicos, físicos y biológicos que conforman el entorno natural, independientemente de su origen, ya sea que provengan de procesos naturales o hayan sido creados por la actividad humana.

Es decir que la contaminación ambiental ocurre cuando se introducen sustancias o agentes dañinos en el entorno natural, generando efectos negativos en los ecosistemas, perjudicando la salud de los seres vivos y determinado la calidad del aire, agua y suelo. Dichos contaminantes pueden ser de naturaleza química, biológica, física o energética y sus fuentes abarcan desde actividades industriales y agrícolas hasta residuos urbanos y emisiones de vehículos. Este fenómeno altera el equilibrio ecológico y contribuye a desafíos globales como el cambio climático y la disminución de la biodiversidad.

2.2.5 Contaminación por aglomeración de basura

Es un fenómeno que afecta en gran medida al medio ambiente como a la



salud humana. Los residuos sólidos mal gestionados terminan acumulándose en zonas urbanas y rurales generando así focos de contaminación a causa de la descomposición de materiales orgánicos, mismos que liberan gases como pueden ser el metano que a su vez contribuye al calentamiento global. Además, la acumulación de basura en vertederos no controlados contamina el suelo y las aguas subterráneas, afectando la biodiversidad y causando problemas a la salud como bien podrían ser enfermedades respiratorias o gastrointestinales a las comunidades aledañas. En la ciudad de Juliaca esto se puede apreciar en las celdas transitorias de Huanuyo, provincia de San Román, donde al exceder su capacidad de acumulación de residuos estos terminaron llegando al cauce del río Cabanillas.

Además, la acumulación de basura también tiene impactos visuales y económicos, ya que la gestión de desechos no controlados genera costos adicionales para los gobiernos locales, que deben invertir en programas de limpieza y restauración del entorno afectado. Las políticas de reducción de residuos, reutilización y reciclaje son esenciales para mitigar estos impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana (Schnurer, 2019).

2.2.6 Contaminación por residuos metálicos (chatarra)

La contaminación por acumulación de chatarra en el Perú es un problema creciente, especialmente en áreas urbanas donde el manejo de los mismos no ha sido del todo eficiente. Más cuando hablamos de chatarra nos referimos a vehículos en desuso, electrodomésticos, llantas, colchones usados, metales oxidados, calaminas y otros metales que terminan acumulándose en vertederos o hasta en espacios públicos, generando impactos negativos en el medio ambiente como en la salud de los miembros de la comunidad. Por si fuera poco,



la falta de políticas adecuadas de reciclaje y gestión de residuos agrava esta situación.

Además, la acumulación de residuos metálicos no solo genera un problema de espacio sino también atrae plagas y se convierte en un foco de contaminación por los aceites, óxidos, hidróxidos, material orgánico, etc. Que son secretados en el suelo afectando y pudiendo llegar hasta las aguas subterráneas. También, los metales pesados presentes en algunos tipos de chatarra pueden causar problemas de salud, como enfermedades respiratorias y daños neurológicos, en las comunidades cercanas (CONAM,2019).

2.2.7 Gestión de residuos

La falta de infraestructuras adecuadas y de conciencia sobre la importancia del reciclaje y el tratamiento de residuos agrava este problema. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental (2020), un manejo adecuado de la basura podría reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la calidad de vida en las ciudades y disminuir los riesgos de salud pública.

Según el artículo 18° del Decreto Legislativo N° 1278, las autoridades sectoriales ejercen la función de regular la gestión y el manejo de residuos sólidos de actividades de la construcción y servicios de saneamiento (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento,2023). Sin embargo, el que sean los encargados no significa que sean eficientes. En la ciudad de Juliaca es la Municipalidad Provincial de San Román la encarga de recolectar los desechos más sólo recogen cerca del 70% de los mismos, el resto va a las calles, áreas verdes, ríos y demás puntos dentro de la región



2.2.8 Historia y Evolución del Horno Cubilote

2.2.8.1 Orígenes

En el siglo XVIII, el horno de cubilote fue una innovación que coincidió con el inicio de la Revolución Industrial. Los hornos de fundición de importancia histórica sirvieron de fuente de inspiración para su diseño, que posteriormente se modificó para mejorar la eficacia de la producción de hierro (Cruz, 2024).

2.2.8.2 Diseño y Funcionamiento Inicial

En sus primeras fases de desarrollo, los hornos de cubilote no eran más que cilindros verticales revestidos de ladrillo. Para facilitar el proceso de fundición, utilizaban coque como combustible y apilaban chatarra y fundente (como piedra caliza) en capas verticales. Gracias a ello, consiguieron el resultado esperado.

2.2.8.3 Avances en el Siglo XIX

El horno de cubilote pudo mejorar tanto su capacidad como su eficacia gracias a las modificaciones introducidas en su diseño en el siglo XIX. Estos avances fueron significativos. Además de permitir un aumento de la temperatura, el uso de dispositivos de soplado de aire hizo posible acelerar el proceso de fusión del hierro durante la fusión (Cedeño et. all. , 2013).

2.2.8.4 Innovaciones del Siglo XX

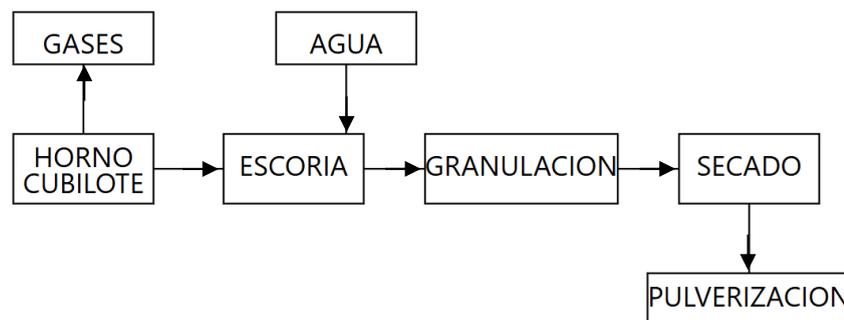
A lo largo del siglo XX, se introdujeron varias innovaciones tecnológicas en el diseño de los hornos de cubilote. Entre estos avances

se encontraba la automatización del proceso de carga, así como la mejora de los sistemas de control de emisiones, con el objetivo de reducir el impacto que estos avances tenían sobre el medio ambiente.

La capacidad de los hornos de cubilote para reciclar la chatarra de forma eficiente hizo que se utilizaran ampliamente en la industria siderúrgica, sobre todo en la producción de componentes de hierro dúctil y gris durante este periodo. Esto se debió al hecho de que los hornos de cubilote eran muy eficaces en el reciclaje de chatarra.

Figura 1

“Esquema 1”



Fuente: Esquema del procesamiento de escorias de un horno cubilote, extraído de Cedeño et. all, 2013...

2.2.8.5 Principios de Funcionamiento del Horno Cubilote

Cuando se trata de fundir hierro colado, los hornos de cubilote son un equipo que no sólo es increíblemente rentable, sino que además requiere muy poco mantenimiento. Por ello, son una opción excelente. La figura indica que están formados por un tubo de más de cuatro metros de longitud, cuyas paredes están recubiertas de material refractario, y el propio tubo está sujeto por una coraza de acero que lo hace girar. La altura de estas estructuras puede oscilar entre 0,6 y 1,4 metros, y a



menudo tienen lechos de chatarra de hierro, coque y piedra caliza apilados encima. El diámetro de estas estructuras puede variar en cualquier grado. El término "desguaces de hierro" se refiere a este tipo de construcciones. Para facilitar la combustión del coque, es imprescindible utilizar soplantes que proporcionen alta presión para introducir aire en el interior del horno. A continuación, se utilizan las toberas situadas en la base del horno para suministrar energía al aire. Estos hornos se cargan con pellets de mineral de hierro o arrabio sólido. Ambas opciones están disponibles.

Ambas opciones pueden considerarse. En un periodo de tres horas, los hornos de cubilote son capaces de producir piezas fundidas (metal fundido) que pueden pesar hasta veinte toneladas. Se trata de un logro significativo. El hecho de que la tecnología que se utiliza para regular las emisiones contaminantes sea más costosa que el propio horno es el problema más importante que se plantea con estos hornos. Es lo más importante de lo que hay que preocuparse. Como consecuencia de ello, las emisiones de polvo que producen estos hornos no están sujetas a ningún tipo de control. Esto significa que, en algunos países, no se permite su funcionamiento. Al apilar el combustible (coque) y la carga (chatarra y fundentes) en capas de coque y material de carga que se alternan en proporciones que se corresponden entre sí, no sólo son razonablemente sencillos de hacer funcionar, sino que también tienen una necesidad de mantenimiento relativamente baja.

La técnica consiste en extender las capas a lo largo del horno siguiendo una secuencia determinada, que comienza en la cámara de



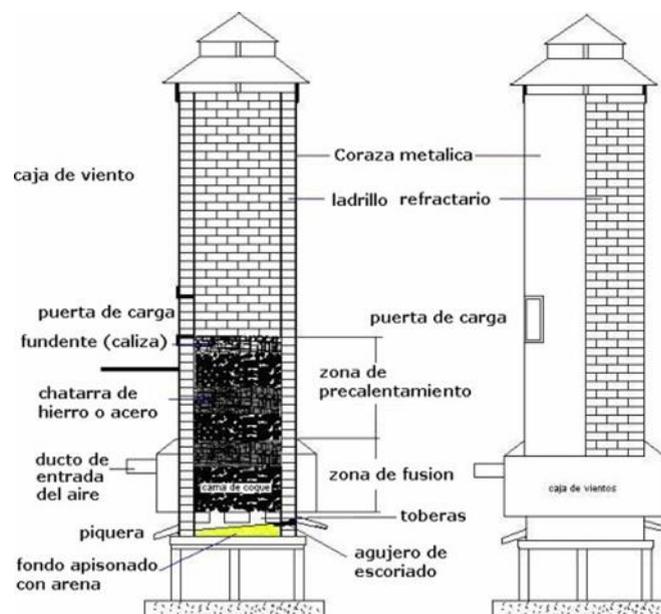
fusión y termina en la puerta de carga. Este proceso comienza en la cámara de fusión y termina en la puerta de carga. Mediante el consumo del coque y la fusión del metal a lo largo de la operación, la figura demuestra cómo disminuyen las cargas de combustible y metal. Inmediatamente después, se colocan más cargas dentro del cubilote hasta que la jornada de fusión llega a su conclusión natural. Para obtener el resultado deseado es necesario repetir este proceso hasta que el metal se haya fundido por completo. Debido a este contacto, se produce una llama que permite que el calor producido por el carbón y el aire se transmita al metal situado inmediatamente encima del lecho de coque. Este es el resultado de la interacción. El suministro de aire de combustión es responsabilidad de un ventilador de alto caudal, que es un tipo de ventilador que mantiene un caudal de aire elevado durante un tiempo determinado. Este ventilador es el responsable de suministrar el aire de combustión.

La única diferencia significativa entre los cubilotes básicos y los ácidos es la composición química del refractario que se emplea en su construcción. Esta característica es lo único que diferencia a los dos tipos de cubilotes. Debido a ello, podemos clasificarlos como cúpulas básicas o cúpulas ácidas. La diferencia entre ellos puede atribuirse, en parte, a la naturaleza del material refractario que se utiliza en la construcción de cada uno de ellos. Así, los hornos básicos tienen un revestimiento de ladrillos refractarios de dolomita, frente a los hornos ácidos, que tienen un revestimiento de ladrillos refractarios de sílice. Aunque se han introducido numerosas modificaciones y alteraciones en el diseño de los

hornos de cubilote, el funcionamiento de estos hornos es básicamente el mismo. Una vez finalizado el proceso de fundición, el tipo de hierro que puede recuperarse del horno es una consideración importante en el proceso de toma de decisiones sobre el revestimiento que se utilizará posteriormente. Aquellos procedimientos que necesitan hierro que tenga un alto contenido de carbono y un bajo nivel de azufre dentro de su composición son los que hacen uso de los hornos de cubilote básicos. Hay un gran número de reacciones químicas que tienen lugar dentro del horno, razón por la cual el funcionamiento de este tipo particular de horno es más complejo que el funcionamiento de otros tipos de hornos (Salas, 2006).

Figura 2

“Esquema 2”



Fuente: Vista esquemática del horno de cubilote extraído de (Salas, 2006).



2.2.8.6 Funcionamiento del cubilote

Al principio, la puerta al fondo se cierra, se coloca una capa de arena en el fondo con una pendiente hacia el agujero hemorrágico, y luego el calentamiento lento se lleva a cabo quemando la madera en el crisol. Esto se hace para eliminar la humedad del horno, lo que evita que el revestimiento se degrade. Es necesario lograr esto para garantizar que el cubilote funcione como se pretendía. Es importante colocar cuidadosamente la madera sobre el suelo de arena en forma de cono invertido para que pueda absorber el impacto de la madera adicional y el coco. Es necesario que la madera sea seca, suave y fácil de quemar para que sea considerada buena para su uso. En contraste, los ganchos se dejan abiertos, y la madera se ilumina con la ayuda de gasolina u otro material inflamable. Este método se utiliza para lograr lo mismo. En el momento en que la madera ya está en proceso de quema, se añade una cantidad que equivale al cincuenta por ciento o al treinta por ciento del peso total del lecho de coco. A medida que el fuego continúa creciendo, finalmente llegará a un punto donde todo el coco se está calentando gracias al disparo natural. Cuando esto ocurre, el aire se atrae a través de los agujeros de limpieza y basura, que se mantienen abiertos durante este proceso (Custodio, 2006).

Para quemar la cama de coca lo más rápidamente posible, a veces es necesario hacer uso de un minúsculo soplador o una manguera adicional. Los grandes pedazos tienen la tendencia a generar caminos extraordinariamente grandes para el movimiento del aire, lo que impide que la cama se queme de manera uniforme.



Los pequeños trozos de coca, por otro lado, se queman a una tasa significativa. El tamaño de la cama de coca debe ser lo suficientemente uniforme como para permitir el flujo ilimitado de aire y facilitar la iluminación de la coca lo más rápidamente posible. Dependiendo de la presión del horno, la altura de la cama de coca suele estar entre 90 y 120 centímetros por encima del nivel de los talones. Esta altura puede variar de persona a persona. Es obvio que el nivel de habilidad del operador es también de la máxima importancia cuando se trata de seleccionar la altura adecuada.

Hay una continuación de la iluminación de la cama durante aproximadamente una hora, hasta el punto en que alcanza un color que es rojo cereal, vivaz y atractivo (Custodio, 2006).

Después de que el coco haya sido completamente iluminado, el agujero de limpieza debe ser sellado usando una combinación especial de arena de moldeo y barro, y luego se debe poner una placa de acero sobre él. Este proceso debe repetirse hasta que el agujero se cierre completamente. Para obtener la altura deseada de la cama, que se establece mediante una vara de medición que se inserta a través de la puerta de carga, es necesario consumir una mayor cantidad de esta sustancia. Para asegurar que el coco esté bien iluminado y que se queme fácilmente en los espinos, debe asegurarse de que se ilumine antes de introducir cualquier carga. Esto es algo que se necesita.

El horno se llena de cargas con el objetivo de alcanzar el nivel del trago cuando se apunta la cama. Las cargas se ponen en el horno. Durante el proceso, el fundador, que normalmente está hecho de caliza,



es cargado con el cubo, y las cargas del metal y el cebo se intercambian alrededor. El proceso de soplar comienza tan pronto como el cubo está totalmente satisfecho con su contenido. Después de eso, el coco se quema con el aire que es soplado por el ventilador, y el derretimiento del hierro comienza inmediatamente después de eso.

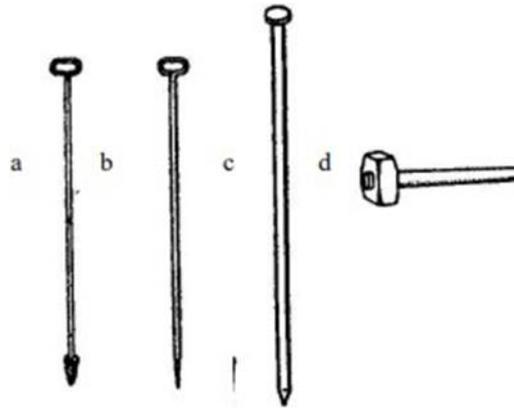
Debería ser posible ver el metal fundido derramando por la parte delantera de las barras después de ocho o diez minutos han pasado. Es posible que los bloques se obstruyan como resultado de los desechos que se enfrían por el flujo de aire que se deposita delante de ellos; por lo tanto, es necesario realizar una limpieza periódica utilizando barras hasta que se hayan limpiado completamente los buques. En caso de que la reducción de la carga se detenga o se demore, se creará un puente o una obstrucción de los componentes metálicos. Se necesita una barra apuntada y un martillo para limpiar el puente. El martillo se pone a través de la boca de la carga, que es también donde se coloca la barra apuntada (Custodio, 2006).

En algunos castores, el agujero de fundición se mantiene abierto hasta que el metal que ya ha sido fundido salga del horno a una temperatura lo suficientemente alta como para permitirlo hacerlo. Después de eso, una tapa es el último paso para cerrar el agujero. Cuando se trata de otros castores, el agujero es sellado justo después de que se haya terminado el proceso de secado, antes del comienzo del proceso de soplado. La arena de moldeo constituye el treinta por ciento de este capó cónico, que está compuesto por el cincuenta por ciento del barro refractario, el veinte por cien del carbón en polvo y el treinta por cien

en total. A través del uso de una barra, se coloca en el agujero de sangrado (Custodio, 2006).

Figura 3

“Herramientas”



Fuente: Forma de las herramientas utilizadas para el funcionamiento del horno cubilote a, barra para aplicar los tapones; b, piqueta; c, barra para romper los puentes; d, martillo. Extraído de (Custodio, 2006)

2.2.8.7 Componentes y Estructura del Horno Cubilote

2.2.8.7.1 Estructura del Horno Cubilote

Según el Medina y Taco (2009) no mencionan que el horno Cubilote tiene la siguiente estructura:

- a. Placa de acero soldada que se une para crear la carcasa cilíndrica del dispositivo.
- b. Dado que permite las dilataciones radiales y axiales del material refractario, el revestimiento interior del material refractario (entre éste y la carcasa hay una capa intermedia de unos dos centímetros que se rellena con arena seca) se rellena con arena seca.



- c. Esto se refiere a la cubierta adecuada para la chimenea de la chimenea. También se incluye en el sistema un parachispas.
- d. Cuando la boca de carga se aplica manualmente, es pequeña y está provista de una placa inclinada para facilitar la entrada de pesos. En cambio, cuando la boca de carga se aplica automáticamente, es más ancha.
- e. Se trata de una placa fina que rodea total o parcialmente la carcasa y en la que entra aire o viento (proporcionado por una máquina sopladora) con el fin de provocar la combustión del coque. Una cámara de aire anular es un tipo especial de cámara de aire.
- f. Hay toberas que se adaptan a la carcasa y están hechas de hierro fundido o placas de acero. Estas toberas tienen forma de caja perforada y son compatibles con la carcasa. Para guiar el aire hacia el interior del cubilote, estas toberas son esenciales. La pared exterior de cada tobera está perforada y provista de ojos de buey con mirillas (de mica o cristal) para poder ver el proceso de combustión. Esto permite observar el proceso.
- g. Colector para la escoria. Para facilitar la evacuación de la escoria, se ha incluido una abertura situada entre 15 y 20 centímetros por debajo del plano de la tobera e inclinada un ángulo de 30 a 40 grados con respecto a la horizontal.
- h. En este paquete se incluyen además el encendido lateral y la limpieza de la puerta. Al inicio del proceso de fusión, es

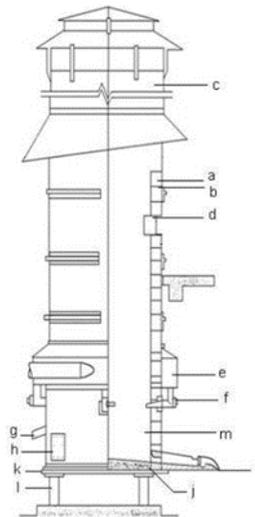


- necesario reconstruir la pared que completa el revestimiento. Esto debe hacerse antes de que pueda cerrarse el revestimiento. Justo antes del inicio del proceso de fusión, esto se lleva a cabo.
- i. Tubo de fundición que está hecho de chapa de hierro y revestido de material refractario. Este tubo se utiliza para la fundición. Para garantizar que el hierro fundido pueda fluir hacia abajo en el caldero de fundición, es beneficioso mantener el fuego a la misma inclinación de diez grados durante todo el proceso.
 - j. Uno que tenga una cúpula y un hogar inferior. La arena compactada y moldeada se coloca en el horno con una inclinación de diez grados respecto a la piqueta del horno.
 - k. La chapa de hierro fundido o chapa gruesa compone la placa base, que se caracteriza por una envoltura cilíndrica. Es posible utilizar una puerta de descarga que tiene una o dos bisagras y puede abrirse hacia abajo mediante un cerrojo, una palanca o retirando el puntal para cerrar el orificio que está situado en el centro de la chimenea. Es posible cerrar esta puerta mediante una puerta de descarga. Una vez finalizado el funcionamiento del horno, el coque que se mantiene en el interior del lecho se evacua a través de él para ser eliminado.
 - l. Se utiliza hierro fundido en la construcción de cuatro columnas de soporte, que se apoyan en cimientos de ladrillo de hormigón. La mayoría de las veces, hay cuatro columnas de soporte.
 - m. Situado entre el plano de las toberas y el hueco entre el hogar,

el crisol es el componente más bajo de la cúpula. También se le conoce como crisol. Hay estimaciones que indican que el metal representa alrededor del 46% del volumen total. El coque incandescente es el ingrediente predominante que constituye el 54% restante del total.

Figura 4

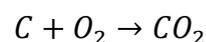
“Esquema 3”



Fuente: Esquema del horno de cubilote estándar y sus partes extraídos de (Medina & Taco, 2009)

2.2.8.7.2 Reacciones de combustión en el horno de cubilote

Cuando el oxígeno que transporta el aire que sopla entra en contacto con el coque incandescente, se produce el subsiguiente proceso de combustión que se describe a continuación (Bran, 2021).



Esta reacción es exotérmica, lo que significa que es la responsable



de producir la mayor parte del calor necesario para el funcionamiento del sistema. Tiene lugar en una zona del horno de cubilote situada muy cerca de las toberas y a una temperatura superior a los 2.000 grados Celsius. La naturaleza de la reacción es heterogénea debido a que en ella intervienen tanto una sustancia sólida (coque) como un componente fluido gaseoso (aire). El transporte del reactivo gaseoso, que es oxígeno, a la superficie del coque es el responsable de controlar la cinética de la reacción. Este transporte tiene lugar en las circunstancias de temperatura presentes (Aristizábal et. all. , 2005).

2.2.8.8 Variables Críticas en el Diseño del Horno Cubilote

2.2.8.8.1 Área Usada y Longitudes

El área usada y las longitudes son parámetros fundamentales en el diseño del horno cubilote. Estas variables determinan el tamaño físico y la capacidad del horno, influyendo directamente en su eficiencia y capacidad de producción. El área usada se refiere al espacio total que ocupa el horno, mientras que las longitudes pueden incluir tanto la altura del cilindro vertical como el diámetro de la cámara de combustión. Un diseño óptimo requiere el cálculo preciso de estas dimensiones para asegurar una distribución uniforme del calor y un flujo de aire adecuado. La relación entre la altura y el diámetro del horno afecta la velocidad de combustión y la eficiencia térmica. Un diseño inadecuado puede resultar en la formación de puntos calientes o fríos, lo que puede afectar negativamente la calidad del hierro fundido. La selección adecuada de estas dimensiones también debe considerar las restricciones espaciales del lugar de instalación y los requisitos de producción específicos,



permitiendo un balance entre eficiencia operativa y limitaciones físicas (Tirado, 2018).

2.2.8.8.2 Ventilador (Área de la Tubería, Presión y Temperatura)

El ventilador en un horno cubilote es crucial para el suministro de aire, que actúa como comburente en el proceso de combustión del coque. Las variables relacionadas con el ventilador incluyen el área de la tubería, la presión (ΔP), y la temperatura (T). El área de la tubería del ventilador debe ser lo suficientemente grande como para permitir un flujo de aire adecuado que soporte una combustión eficiente. La presión es otro factor crítico que determina la velocidad a la que el aire entra al horno. Una presión insuficiente puede llevar a una combustión incompleta, mientras que una presión excesiva puede causar turbulencias y un consumo ineficiente de combustible. Además, la temperatura del aire introducido puede influir en el rendimiento térmico del horno. El aire precalentado puede mejorar la eficiencia energética y reducir el tiempo necesario para alcanzar las temperaturas de fusión deseadas. Por lo tanto, el diseño del sistema de ventilación debe optimizar estos parámetros para maximizar la eficiencia del proceso y la calidad del producto final (Tirado, 2018).

2.2.8.8.3 Temperatura en la Zona de Fusión

La temperatura en la zona de fusión es una variable clave que afecta la calidad y consistencia del hierro fundido. Esta temperatura debe ser controlada con precisión para asegurar que el metal alcance su punto de fusión y se mantenga líquido durante el tiempo necesario para su



procesamiento. La temperatura ideal en esta zona es esencial para lograr una fusión uniforme del metal y evitar defectos en el producto final. Un control deficiente de la temperatura puede resultar en un enfriamiento prematuro o un sobrecalentamiento, ambos de los cuales pueden comprometer las propiedades mecánicas del hierro fundido. Además, las fluctuaciones de temperatura pueden influir en la eficiencia del horno y el consumo de combustible. Los sistemas de monitoreo y control de temperatura, como las termocuplas y los sistemas de retroalimentación automática, son herramientas cruciales para mantener condiciones óptimas en la zona de fusión. La selección de los materiales refractarios también juega un papel importante, ya que deben resistir las altas temperaturas sin degradarse ni afectar el proceso (Tirado, 2018).

2.2.8.8.4 **Materias Primas (Cantidades a Fundir)**

Las materias primas, como el hierro, el coque y la caliza, son componentes esenciales del proceso de fundición en el horno cubilote. La cantidad de estos materiales que se carga en el horno afecta directamente la eficiencia del proceso y la calidad del producto final. Una proporción adecuada de materias primas es crucial para asegurar una fusión uniforme y una combustión eficiente. El hierro actúa como el material principal para la fundición, mientras que el coque es el combustible necesario para alcanzar las temperaturas de fusión. La caliza actúa como un fundente, ayudando a eliminar impurezas del metal fundido. La gestión precisa de las cantidades a fundir requiere un cálculo cuidadoso de las proporciones y una planificación metódica del proceso de carga. La sobredosis o la deficiencia de cualquiera de estos



componentes puede llevar a un rendimiento subóptimo del horno, un desperdicio de recursos y una disminución de la calidad del hierro fundido. Los sistemas automatizados de dosificación y mezcla pueden ayudar a optimizar este aspecto del diseño del horno (Tirado, 2018).

2.2.8.8.5 Gases de Chimenea (Contaminación Ambiental y Temperatura)

Los gases de chimenea son un subproducto inevitable del proceso de fundición en el horno cubilote, y su manejo es crucial tanto desde una perspectiva ambiental como de eficiencia. La contaminación ambiental es una preocupación importante, ya que estos gases pueden contener compuestos nocivos, como dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), y partículas metálicas. Implementar sistemas de filtración y tratamiento adecuados es esencial para reducir las emisiones contaminantes y cumplir con las normativas ambientales. Además, la temperatura de los gases de chimenea puede influir en la eficiencia energética del proceso. Los gases a alta temperatura pueden representar una pérdida de energía significativa si no se recuperan adecuadamente. Los intercambiadores de calor y las tecnologías de recuperación de calor pueden reutilizar parte de esta energía para precalentar el aire de combustión o los materiales de carga, mejorando así la eficiencia general del horno. Un diseño eficiente del sistema de gestión de gases no solo protege el medio ambiente, sino que también optimiza el consumo energético y reduce los costos operativos (Tirado, 2018).

Tabla 1

“Variables”

Concepto	Variable independiente					
	Categoría	Indicador	items	Técnicas	Instrumentos	Equipos
El horno de cubilote para fundición de hierro gris es una unidad que usa como combustible el coque y como comburente el aire atmosférico a presión, el cual ingresa a las toberas, ubicadas en la parte media del cilindro vertical recubierto en su interior con material refractario. Al mismo tiempo, por la parte superior del horno se introducen los materiales de carga sólidos, entre los cuales se encuentran: el coque, el metal de carga y los fundentes.	Horno de cubilote	Área usada	m ²	Medición	Guía de observación	Flexómetro
	Ventilador	Longitudes	m	Medición		Flexómetro
		Área de la tubería, ΔP, T	m ² atm °C	Medición	Guía de observación Relieves termográficos	Flexómetro Anemómetro o de molinete Cámara térmica termómetro
	Temperatura	En la zona de fusión	°C	Medición	Tabla de mediciones	Termocupla
	Materias primas (hierro, coque y caliza)	Cantidades a fundir	Kg	Medición	Guía de observación	Balanza
	Gases de chimenea	Contaminación ambiental Temperatura	m ³ /s °C	Medición	Tabla de mediciones	Tablas de operación sugeridas termográfica

Fuente: Descripción de las variables independientes para el diseño de un horno cubilote. Fuente propia

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

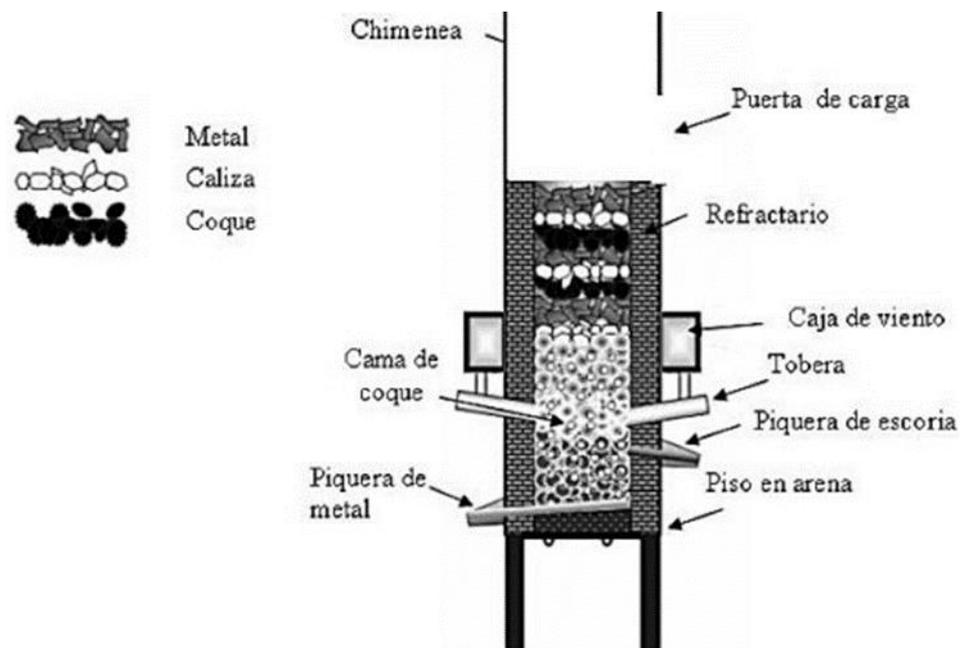
2.3.1 Horno Cubilote

Aunque el horno de cubilote es uno de los hornos más versátiles y tecnológicamente más probados, también es la unidad de fusión cilíndrica que más se ha utilizado a lo largo del siglo pasado para la fabricación de hierro fundido. Esto se debe a que el horno de cubilote tiene una unidad de fusión cilíndrica. Este horno funciona principalmente con coque como principal fuente de suministro de energía. Esto se debe a que el poder calorífico del carbón viene determinado por la cantidad de coque que se aplica a la hulla o carbón mineral. Para construir las paredes interiores del cilindro del horno de cubilote que se utiliza en el Centro Mecanizado Pérez se emplean ladrillos de material refractario. Esta configuración particular del horno es bastante fácil de entender. Hay cuatro toberas en una cámara de aire, que son las encargadas de permitir

que el aire llegue a la zona de combustión y alimente la fundición gris. Esta cámara está situada en la zona más baja de la construcción (Tirado, 2018).

Figura 5

“Esquema 4”



Fuente: Partes del horno cubilote en funcionamiento y de vista lateral. Extraído de (Tirado, 2018)

2.3.2 Residuos Metálicos

Los residuos metálicos son materiales que contienen componentes metálicos y que resultan del procesamiento y uso de metales en diversas industrias, como la minería, la metalurgia, la fabricación de productos metálicos, y la electrónica. Estos residuos pueden presentarse en diversas formas, como polvos, escorias, lodos, virutas y residuos sólidos, y suelen ser clasificados como peligrosos debido a la presencia de metales pesados y otros elementos tóxicos que pueden tener un impacto ambiental significativo si no se gestionan adecuadamente. La gestión eficiente de los residuos metálicos implica su identificación, clasificación y tratamiento con el fin de minimizar su impacto



ambiental y maximizar su potencial de reciclaje o reutilización. Un enfoque sostenible para la gestión de residuos metálicos no solo reduce el riesgo de contaminación ambiental, sino que también contribuye a la conservación de recursos naturales al recuperar metales valiosos que de otro modo se perderían en vertederos.

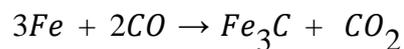
El reciclaje de residuos metálicos es una práctica cada vez más común y esencial en el marco de la economía circular, donde los materiales se reutilizan en lugar de desecharse. Este proceso puede implicar la recolección, separación, procesamiento y refundición de metales, lo que no solo reduce la necesidad de extraer nuevos metales de la tierra sino que también disminuye la energía requerida para producir nuevos productos metálicos. Además, las innovaciones en tecnologías de reciclaje están permitiendo un procesamiento más eficiente y limpio de estos residuos, abriendo nuevas oportunidades para la recuperación de metales raros y preciosos. La comprensión y el manejo de los residuos metálicos son fundamentales para abordar los desafíos ambientales y económicos asociados con la producción y consumo de metales en nuestra sociedad actual, promoviendo una industria más sostenible y responsable (Rem, 2021).

2.3.3 Fusión

Cuando la temperatura de la carga metálica alcanza el punto en que se funde completamente, la carga metálica entra en la zona de fusión. El tipo de sustancia cargada determina el tamaño de esta zona, así como el punto en el que comienza. Se extiende desde la parte superior del cubilote hasta las toberas que se ven por encima. Por ejemplo, el punto de fusión del hierro es de aproximadamente 1.150 grados Celsius, pero el del acero es de aproximadamente



1.500 grados Celsius. Las condiciones que se sitúan justo por encima de las toberas son las que se consideran más severas. En esta región se produce la oxidación del hierro y otros elementos, y el ataque de la escoria es más dañino que en cualquier otra parte del proceso. Debido a la elevada temperatura de esta región, se produce un aumento de la actividad química, así como una erosión mecánica. Una de las reacciones más importantes que tiene lugar en esta zona es la transición del estado sólido al líquido. Esto también da lugar a la extracción de calor, cuya cantidad específica se rige por el calor de fusión del metal fundido, así como la proporción de metal y combustible que se utiliza. Además, esto da lugar a la extracción de calor. En esta región, los metales deficientes en carbono son responsables de una cantidad significativa del carbono que absorben a lo largo de su vida. Es la siguiente la respuesta (Medina & Taco, 2009):



La zona de precalentamiento se extiende a lo largo del extremo superior de la estructura, mientras que la zona de gasificación del coque se extiende a lo largo del extremo inferior de la estructura. Está situada a la altura del lecho de coque, que se extiende a lo largo de ambas zonas. Hay varios elementos que influyen en el grosor de esta zona, entre ellos la cantidad de acero que se incluye en la carga, así como el grosor de la chatarra. El punto de fusión del acero es de unos 1500 grados Celsius, mientras que el del hierro es de aproximadamente 1150 grados Celsius. A medida que aumenta la extensión de la zona de fusión en el interior del material, desciende la temperatura de fusión, lo que supone un problema derivado de este fenómeno. Otro factor que contribuye a determinar la extensión de la zona de fusión es la presencia de humedad en la carga. La



razón es que la presencia de humedad hace que la zona de fusión se acerque a la zona de oxidación. Este desplazamiento de la zona hace que se produzca una disminución en la región superior de la zona de reducción, lo que indica que la zona se está desplazando. La transformación química, que también se conoce como el cambio del metal sólido al metal líquido, es la reacción más significativa que tiene lugar.

2.3.4 Combustible

Los combustibles se definen como sustancias capaces de quemarse y producir energía calorífica. Existen muchos tipos diferentes de combustibles. El carbón, los combustibles fósiles y los hidrocarburos, que incluyen el gas natural, la gasolina, el gasóleo y el combustible búnker, son las formas más frecuentes de combustibles. Otros tipos de combustibles son el gasóleo, la gasolina y el gasóleo. En pocas palabras, la combustión no es más que una oxidación del combustible por el comburente, que es el oxígeno presente en el aire. Esta es la esencia de la combustión desde un punto de vista químico. La eficacia del proceso de combustión aumentará en proporción a la cantidad de oxígeno presente en el aire. Se denomina poder calorífico y depende del tipo de combustible que se queme. El poder calorífico es la cantidad de energía que se genera durante el proceso de combustión. La utilización del coque como principal portador de energía en los hornos de cubilote es la técnica más utilizada en Ecuador para la producción de hierro gris, según los resultados de esta investigación. (Tirado, 2018)

En el ámbito del horno de cubilote, un combustible se refiere a una sustancia sólida que se emplea para generar calor. Los combustibles sólidos se clasifican de acuerdo con sus propiedades, como la cantidad de componentes



volátiles, residuos de cenizas, humedad presente, carbono no volátil, y capacidad calorífica. Estas características son cruciales para determinar la idoneidad y eficacia del combustible en aplicaciones específicas, como la producción de hierro gris en fundiciones. Ejemplos comunes de estos combustibles son el carbón, el lignito, la hulla, la antracita, y el coque (Morales, 2019).

2.3.5 Temperatura de Operación

La temperatura de operación es un parámetro crucial en muchos procesos industriales, particularmente en aquellos relacionados con la metalurgia y la fabricación de materiales. Se refiere a la temperatura a la cual se lleva a cabo un proceso específico para lograr los resultados deseados, como la fusión, solidificación, o modificación de propiedades mecánicas y químicas de un material. La elección de la temperatura de operación adecuada es esencial para asegurar la eficiencia del proceso, la calidad del producto final, y la seguridad operativa. En la metalurgia, por ejemplo, la temperatura de operación afecta directamente la velocidad de reacción, la formación de fases, y las características microestructurales del metal o aleación en cuestión, influyendo en sus propiedades mecánicas y de resistencia.

Además, el control preciso de la temperatura de operación es fundamental para prevenir defectos en el producto final y optimizar el consumo de energía, lo que puede tener un impacto significativo en los costos de producción y la sostenibilidad ambiental del proceso. Las variaciones en la temperatura de operación pueden llevar a problemas como el desgaste acelerado de equipos, fallas en componentes críticos, y emisiones no deseadas, lo que subraya la importancia de un monitoreo continuo y un control riguroso en ambientes industriales. La investigación y desarrollo en técnicas avanzadas de



control de temperatura, como el uso de sensores y sistemas de automatización, están mejorando la capacidad de mantener condiciones óptimas en procesos industriales, contribuyendo a una producción más eficiente y sostenible (Smith & Brown, 2020).

2.3.6 Expansión térmica

La dilatación térmica es el fenómeno que se produce cuando una sustancia se dilata al calentarse y se contrae al enfriarse. Esta característica particular es la que se detalla aquí. Si este calentamiento no se lleva hasta el punto de crear cambios permanentes de volumen a altas temperaturas, el refractario volverá a sus dimensiones originales. Esto ocurrirá si el calentamiento no se lleva hasta el punto de provocar estos cambios. El término "dilatación térmica reversible" es lo que la comunidad científica denomina a esta propiedad concreta. Es posible determinar el coeficiente de dilatación térmica de los materiales refractarios mediante diversos tipos de métodos. Una función que ilustra la dilatación térmica reversible es el cambio dimensional que se produce como consecuencia de la temperatura. Es posible expresar este cambio en una serie de otras medidas, incluyendo un porcentaje, cm/m, mm/m, y otras medidas (Lezama & Zuñiga, 1991).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La siguiente investigación se realizó mediante un enfoque cuantitativo que es una metodología basada en la recolección y análisis de datos numéricos, con el objetivo de encontrar patrones, establecer relaciones entre variables y generar resultados con el fin de que estos sean generalizables.

Este enfoque utiliza técnicas estadísticas para medir y analizar los fenómenos observados buscando así un análisis más objetivo y replicable. En los estudios cuantitativos se suelen utilizar encuestas, experimentos y análisis de datos secundarios en la búsqueda de datos lo más precisos posibles. Este enfoque se caracteriza por su capacidad de describir, explicar y predecir fenómenos haciendo uso de herramientas matemáticas y estadísticas.

Según Hernández Sampieri et al. (2014), el enfoque cuantitativo “se fundamenta en el uso de mediciones numéricas para describir realidades, probar teorías o formular nuevas hipótesis con base en los datos obtenidos”.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene como fin el diseño de un horno cubilote para reducir la cantidad de residuos metálicos en la ciudad de Juliaca. Para ello en la primera parte debemos determinar la cantidad promedio de basura generada en la ciudad de Juliaca, estimar aquella que no es tratada por las autoridades pertinentes, y finalmente calcular cuánta de esa basura tiene contenido metálico aprovechable.

Para la segunda etapa debemos caracterizar la chatarra y separarlas en grupos a



partir de su composición química.

Por último, una vez calculada la cantidad de chatarra a tratar y el tipo de metales que estaremos trabajando y dependiendo de estos datos es que podremos pasar al diseño del horno cubilote, para así determinar el volumen de sólidos, el tiempo y temperatura de fundición así mismo, el número de coladas por día, también realizaremos un balance metalúrgico para obtener el porcentaje de recuperación de materia metálica.

Para la primera parte haremos uso de investigaciones y reportes generados por el Ministerio del Ambiente, pero también haremos una recolección de datos mediante fotos y toma de muestras.

Para la segunda parte utilizaremos la ficha técnica de los materiales más recurrentes encontrados, así como la generalización de datos para determinar la composición general de metales introducidos al horno cubilote.

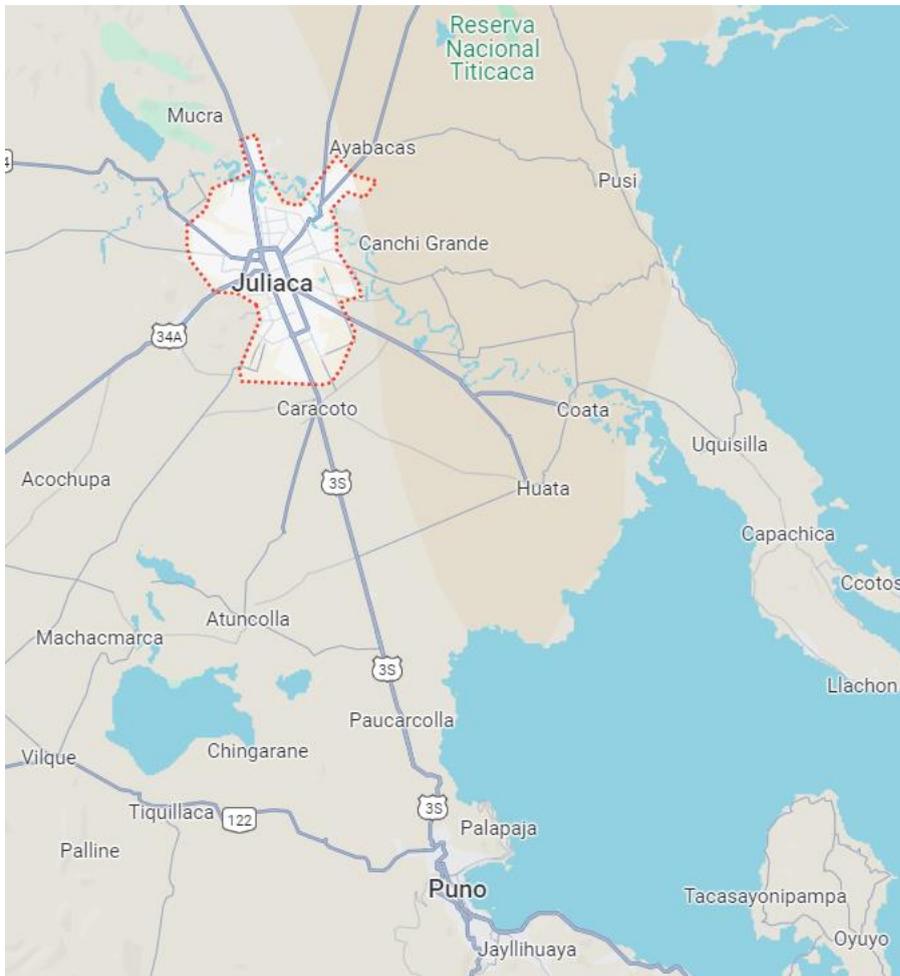
Por último, para el diseño del horno cubilote utilizaremos ecuación de volumen y diseño, partiendo de un modelo estandarizado que iremos modificando conforme nuestras necesidades, para ello haremos uso del software AutoCAD 2024 para el diseño en 2D y SolidWorks para el modelado en 3D. Para la selección de los materiales a utilizar en el diseño del horno haremos uso de una revisión bibliográfica buscando las características que este deberá cumplir para una correcta eficiencia.

3.3 ESCENARIO DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación tomará como lugar la ciudad de Juliaca capital de la provincia de San Román, ubicada en el departamento de Puno al sudeste de Perú, cuenta con una superficie de 533.47 km² y se encuentra situada a 3825 m.s.n.m. cerca del lago Titicaca, siendo la ciudad más grande y poblada de Puno lo que la convierte en el eje comercial y vial de la región (Cayra,2024,p.27).

Figura 6

“Mapa”



Fuente: Mapa de la ciudad de Juliaca extraído de “Google Maps”

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La ciudad de Juliaca cuenta con 307 mil habitantes en el 2020, convirtiéndose así en la ciudad más poblada del departamento de Puno, produciendo alrededor de 200 toneladas de basura al día. Sin embargo, las autoridades de San Román se encargan de tratar el 70% de estos residuos por lo que nuestra población sería aquella fracción que no es tratada y termina acumulándose en calles, avenidas y zonas rurales:

$$200 \text{ tn} * \frac{30}{100} = 60 \text{ tn}$$

De esas 60 toneladas y según el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos



Sólidos 2016-2024, el porcentaje de residuos sólidos metálicos varía entre el 2 al 5%, por lo que nuestra muestra sería equivalente a:

$$60 \text{ tn} * \frac{2}{100} \leq MUESTRA \leq 60 \text{ tn} * \frac{5}{100}$$
$$1.2 \text{ tn} \leq MUESTRA \leq 3 \text{ tn}$$

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1 Muestreo probabilístico:

Para esta parte recolectamos fotografías de distintos puntos a través de la ciudad de Juliaca donde se observaba una mayor concentración de basura como de residuos metálicos

- **Observación:**

En esta etapa se procedió a identificar los diferentes tipos de residuos metálicos para posteriormente encontrar su composición.

- **Descripción de los elementos encontrados:**

1. **Rodamientos**

Componente mecánico de forma circular, utilizado para soportar cargas axiales o radiales, en la mayoría de las maquinarias que requieren movimiento rotacional, como motores, ruedas, ventiladores, etc.

Tanto los cuerpos rodantes como los anillos se fabrican de acero para rodamientos cuya designación es 100Cr6 (Materiales y fabricación, 2022).

2. **Latas de pintura**

Recipiente metálico cilíndrico, hermético diseñado para almacenar y transportar pintura líquida y de tapa ajustada.



Fabricado con hojalata un compuesto hecho a partir de acero y estaño. Su composición además del acero es de Sn 10%, Cr 5.5% y C 29% (Culcasi et al,2010)

3. Tolva de carretilla

Recipiente metálico en forma de bandeja utilizado para transportar materiales.

Fabricada normalmente de acero inoxidable 201 calibre 21 (0.84 mm). Su composición es 0.15%C, 5.5%Mn, 16%Cr y 3.5%Ni (Tolva (80L),d/f).

4. Parrilla para carros

Estructura metálica ubicada sobre el vehículo para transportar objetos, aprovechando la capacidad de carga y aumentando la eficiencia del espacio.

Están hechas principalmente en aluminio o acero inoxidable 201 (Acero inoxidable 201, 2018).

5. Red metálica

Malla formada por alambres entrelazados o soldados, utilizado para cercar áreas, reforzar estructuras o filtrar materiales.

Debido a su alta resistencia al impacto y baja resistencia al desgaste muchas de las redes metálicas son fabricadas con acero de carbono liso con un contenido de carbono entre 0.05% y 2% (Materias primas y composición de malla tejida de metal, s/f).

6. Tubería rectangular galvanizada

Conducto metálico de forma rectangular utilizado en estructuras,



conductos de aire y aplicaciones industriales.

Debido a su resistencia, adherencia a la pintura y bajo mantenimiento el material más comercial para este caso es el acero galvanizado A653 con una composición de 0.2% C y 1.2% Mn (Acero galvanizado, 2022)

7. Litera metálica

Plataforma de metal o madera, utilizada como base para los colchones.

Dependiendo de la resistencia y durabilidad puede ser fabricada de acero al carbono o acero inoxidable, siendo la aleación más común el AISI 1010. Con una concentración cerca del 0.1% de carbono (Callister, 2015)

8. Barra antihuelco

Componente de seguridad instalado en vehículos, diseñado para evitar daños en el chasis y la suspensión al pasar sobre irregularidades del terreno, como baches o desniveles.

Debido a su alta resistencia estas piezas son fabricadas con acero de baja aleación de alta resistencia (HSLA) con una composición de carbono entre 0.05% y 0.25%, manganeso entre 1% y 1.5% (Davis, 1993).

9. Puerta de automóvil

Estructura móvil que permite el acceso al interior del vehículo. Compuesta por un marco metálico, un mecanismo de cierre y una ventana.

Comparte similitud con la pieza anterior, también utiliza acero de baja aleación de alta resistencia (HSLA).

10. Chasis



Estructura básica que soporta todos los componentes del automóvil.

Proporciona rigidez, estabilidad y seguridad.

De igual forma es fabricado con acero de baja aleación de alta resistencia (HSLA).

11. Parrilla para carne

Estructura metálica con rejillas, diseñada para cocinar alimentos al aire libre.

Las propiedades principales que debe tener son: resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión además de ser seguro para el contacto con alimentos. Siendo la aleación que más se adecua a su diseño el acero inoxidable 304 con una concentración de 18%Cr y 8%Ni (Callister, 2015).

12. Pletina roscada

Barra metálica plana que presenta roscas en toda su longitud.

Dada sus características, el material más común es con una aleación AISI 1018, con una concentración de 0.15%C (ASM International, 1990).

13. Pletina

Barra metálica plana utilizada en aplicaciones de construcción, mecánica y estructuras metálicas.

Al igual que su versión roscada esta también se fabrica a partir del AISI 1018.

Chatarra liviana



Planchas delgadas laminadas en frío y caliente con espesor menor a 4.75mm

En cuanto a composición, este más que un elemento es un conjunto de materiales metálicos indefinibles, pero con un espesor menor a 4.75mm.

14. Chatarra pesada

Material de acero con un espesor mayor a 4.75 mm.

En cuanto a composición, este más que un elemento es un conjunto de materiales metálicos indefinibles, pero con un espesor mayor a 4.75mm.

15. Carrocería

Estructura exterior de un vehículo, diseñada para proteger a los ocupantes y los componentes internos. Compuesto por paneles metálicos o de plásticos.

Está diseñada para ser resistente, ligera y aerodinámicos, es por eso que deberá estar hecho con acero avanzado de alta resistencia (AHSS) con una composición de carbono entre 0.05% y 0.25%, manganeso entre 1% y 1.5% (Davies, 2012).

16. Tubo de escape

Conducto metálico que transporta los gases de combustión del motor hacia el exterior del vehículo.

Al soportar altas temperaturas y condiciones corrosivas la aleación que más se adecua a su diseño es el acero inoxidable 304 con una concentración de 18%Cr y 8%Ni (Callister, 2015).



17. Ruedas de autos

Componente circular que se monta en el eje del vehículo, diseñado para soportar el peso del automóvil.

En vehículos de gama baja se utiliza una aleación de acero AISI 1010 mientras que para un vehículo de gama media o alta se prefiere una aleación de aluminio 6061-T6.

18. Latas varias

Recipiente cilíndrico, utilizado para almacenar y preservar alimentos, bebidas u otros productos.

Fabricado con hojalata un compuesto hecho a partir de acero y estaño. Su composición además del acero es de Sn 10%, Cr 5.5% y C 29% (Culcasi et al,2010)

19. Calaminas

Lámina metálica delgada utilizada en la construcción para techados y revestimientos.

Generalmente están hechas de acero galvanizado, el más comercial es el A653 cuya composición ya se mencionó antes.

20. Rueda de motocicleta

Componente circular que se monta en el eje de la motocicleta, diseñada para soportar el peso de la misma.

En comparación de las ruedas de automóviles, estas son hechas de aluminio a fin de reducir el peso, la aleación utilizada es la 6061-T6



21. Tarros de aceite

Recipiente generalmente cilíndrico, diseñado para almacenar y transportar aceites o lubricantes. Cuenta con un diseño hermético.

Comparte material con las demás latas expuestas en este trabajo, es decir hojalata.

22. Alambre

Hilo flexible de metal, utilizado en diversas aplicaciones por su resistencia y maleabilidad.

El material más común para los alambres es el acero AISI 1010.

23. Refrigerador

Electrodoméstico diseñado para enfriar y conservar alimentos y bebidas a temperaturas bajas.

Compuesto por varios materiales, siendo los principales el acero AISI 304, aluminio AA6061 y cobre (Raghavan,2004).

24. Somieres antiguos

Estructura de cama formada por un marco de madera o metal con resorte o tiras de metal entrelazadas, que proporciona soporte elástico al colchón.

Comúnmente fabricadas de acero, la aleación más básica es la AISI 1010, o en todo caso de hierro forjado con una composición de 0.1 a 0.4%C (Davis, 2001).

25. Placas metálicas



Lámina plana de metal de diversos espesores, utilizada en diversas aplicaciones industriales.

Las podemos encontrar en acero, aluminio y acero inoxidable, las aleaciones más comunes son AISI 1018, AISI 304 y AA6061.

26. Tuberías

Conducto cilíndrico utilizado para transportar líquidos, gases o materiales sólidos en sistemas de plomería, construcción e industria.

Los materiales más comunes para su fabricación son acero, cobre, PVC y aluminio. Pero como nuestro propósito es fundirlas, descartamos el PVC. Las aleaciones más comunes son A106 grado B, cobre puro y AA6061 (ASTM International, 2020).

27. Cocina a gas

Electrodoméstico diseñado para preparar alimentos mediante el uso de gas combustible para generar fuego.

Compuesto por varios materiales incluido acero inoxidable AISI 304 y hierro fundido

28. Rejas

Estructura formada por alambres entrelazados que proporciona rigidez y es utilizada mayormente como barrera de protección, cercas o en espacios exteriores.

Están fabricadas de varios materiales, pero los más comunes son acero AISI 1010, hierro forjado y aluminio AA6061.



3.6 ANÁLISIS DE DATOS

Según lo observado, se puede estimar que la mayoría de la chatarra metálica producida en la ciudad de Juliaca viene siendo de acero o aluminio, por lo que se deberán tomar en cuenta sus propiedades al momento de diseñar el horno de cubilote.



CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MATERIALES

Para la elaboración de un horno de cubilote como el que se propone en el proyecto se requerirán ciertos materiales e insumos para su construcción y posterior puesta en marcha, los materiales más importantes para su construcción serían los elementos refractarios ya que estos debido a su composición evitan la transferencia de calor al exterior del equipo evitando así que esta sufra deformaciones térmicas.

4.2 LADRILLOS REFRACTARIOS

Los ladrillos refractarios son una alternativa frecuente para el aislamiento térmico de los hornos. Están fabricados con arcilla especial o materiales cerámicos que tienen la capacidad de resistir altas temperaturas sin deformarse ni liberar gases tóxicos. Se emplean para elaborar el revestimiento interno del horno, generando una barrera térmica que conserva el calor dentro del mismo. Además, su estructura porosa contribuye a reducir la transferencia de calor.

Las características de los ladrillos a usar son las siguiente:

- **Composición:** Alúmina y Sílice
- **Dimensiones:** 22cm x 11cm x 6.3 cm
- **Temperatura Máxima:** 1530°C
- **Conductividad térmica:** 0.8 - 1.4 W/m·K (a 1,000°C).

Figura 7

“Ladrillo refractario”



Fuente: Diseño de un ladrillo refractario a base de alúmina y sílice, fuente propia y diseñado en SolidWorks

4.3 FIBRA CERÁMICA

Es un material muy utilizado gracias a su reducida conductividad térmica y su elevada resistencia a temperaturas elevadas. Está formada por filamentos de cerámica finos, lo que la convierte en ligera y sencilla de manejar. Se emplea frecuentemente como aislamiento en los hornos, ya sea en forma de placas, cobijas o papel. Ofrece un aislamiento eficaz y puede emplearse en diversas secciones del horno, como la cámara de combustión o el revestimiento.

-Composición: 45-55% Alúmina (Al_2O_3), 44-52% Sílice (SiO_2).

-Densidad: 64 - 192 kg/m^3 .

-Temperatura de trabajo: 650°C a 1,800°C (según la calidad).

-Conductividad térmica: 0.12 - 0.16 $\text{W/m}\cdot\text{K}$ (a 1,000°C).

-Resistencia al choque térmico: Excelente.

-Formato: Manta

Figura 8

“Fibra cerámica”



Fuente: Fibra cerámica comercial utilizada como revestimiento interno extraída de TecnoPEG

4.4 CEMENTO REFRACTARIO

Cemento que tiene una composición distinta a otros tipos de cemento porque resiste mejor los efectos del calor, siendo apto para la construcción de hornos, chimeneas y paredes portantes.

Es una mezcla de materiales refractarios (sílice y alúmina en su mayoría) en diferentes proporciones y granulometrías, resultando en un material muy similar al cemento común, pero con propiedades de aislamiento y resistencia al calor, ideal para las altas temperaturas, donde se recomienda utilizar sílice de alta calidad. Cuando se llega a 1450 °C, es mejor emplear andalucita con un 65% de alúmina, mientras que en 1350 °C, usaremos andalucita con un 55% de alúmina.

- Composición:** Alúmina, sílice, y óxidos de calcio.
- Temperatura de trabajo:** Hasta 1,800°C (según la fórmula).
- Densidad:** 2,000 - 3,000 kg/m³.
- Conductividad térmica:** 0.8 - 1.0 W/m·K (a 1,000°C).

Figura 9

“Cemento refractario”



Fuente: Cemento refractario comercial Schemin, extraído de PROMART

4.5 PLACA DE ACERO

Material utilizado para el exterior del horno, proporcionando resistencia mecánica y estructura. La placa de acero no se encuentra en contacto directo con el material fundido, ya que el revestimiento refractario lo protege.

Se recomienda usar acero al carbono estructural de grado ASTM A36, que tiene buena resistencia mecánica y es fácil de soldar. Este acero es suficiente para la carcasa externa, ya que no estará expuesto directamente a las altas temperaturas gracias al revestimiento refractario interno. se usa un acero con un grosor entre 6 mm.

-Material: Acero al carbono estructural ASTM A36.

-Grosor recomendado: 6 mm.

-Función: Estructura y protección mecánica externa del horno.

-Exposición: No entra en contacto directo con el material fundido, ya que el revestimiento refractario interno lo aísla de las altas temperaturas.

Figura 10

“Tapa”



Fuente: Tapa del horno cubilote de acero al carbono ASTM 36, diseñado en SolidWorks, fuente propia.

4.6 TAPA DE HIERRO FUNDIDO

Se utilizará una tapa de este material para cubrir la parte superior y evitar que escapen los gases generados por el horno por lo que se proponen dos tipos de hierro fundido:

- **Hierro fundido nodular (FCD450 o FCD500)**

Tiene propiedades mecánicas superiores al hierro gris debido a la formación esferoidal de el grafito, lo que le otorga mayor tenacidad y resistencia a la tracción. Es útil para piezas que requieren mayor resistencia y ductilidad.

- **Resistencia a tracción:**

- FCD450: 450 MPa
- FCD500: 500 MPa

- **Propiedades:**

- Alta ductilidad y resistencia al desgaste
- Buena absorción de vibraciones
- Fácil de maquinar

4.7 RECURSOS NECESARIOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL HORNO DE CUBILOTE



El horno de Cubilote requiere de ciertos recursos para su correcta utilización y algunos elementos que necesita para que el resultado de la fundición sea el más adecuado.

4.7.1 **Coque**

El coque es un combustible producido por destilar la hulla en hornos cerrados a temperaturas extremadamente altas que la aíslan del aire. Contiene solo una pequeña fracción de las materias volátiles que la componen. Es el resultado de la descomposición térmica de los carbones bituminosos sin aire. La combustión de la hulla produce gases beneficiosos para la industria, como el carbón de coque. Es poroso y ligero.

Para el presente proyecto se ha calculado utilizar una proporción de 1/91 siendo que por cada kilogramo de chatarra se utilizara 91 kilos de coque.

4.7.2 **Piedra Caliza**

La caliza se utiliza en la fundición de hierro al cargar el horno como sustancia fundente y como fuente adicional de monóxido de carbono. La sílice presente en el mineral (que no se funde a las temperaturas del horno) se combina con este material para formar silicato de calcio de mayor punto de fusión. El hierro metálico se perdería al formar silicato de hierro sin la caliza. En la parte inferior del horno, el silicato de calcio y otras impurezas forman una escoria que flota sobre el metal fundido.

Para el caso del proyecto se usará una proporción de 1/20 para la disposición de la piedra caliza, siendo que por cada kilogramo de chatarra se usará 20kg de piedra caliza.



4.7.3 Materiales que puede fundir el horno de Cubilote

4.7.3.1 Temperatura máxima del horno

El horno de cubilote puede alcanzar temperaturas que oscilan entre 1500°C y 1700°C, adecuadas para fundir hierro, aunque pueden no ser suficientes para aceros de alta aleación, los cuales requieren temperaturas más elevadas. La construcción del cubilote, que incluye toberas que concentran el calor y el contacto directo del coque con el material a fundir, permite alcanzar estas altas temperaturas, facilitando el proceso de fundición. Algunos de los materiales que se pueden fundir a estas temperaturas son:

4.7.3.2 Temperatura máxima del horno

El cubilote alcanza temperaturas de aproximadamente 1500°C a 1700°C, lo que es suficiente para fundir hierro, pero puede ser insuficiente para aceros de alta aleación que requieren temperaturas más elevadas.

El horno de cubilote gracias a su construcción en la cual las toberas concentran calor de manera concentrada y el coque que se encuentra en contacto directo con el material a fundir, permite alcanzar temperaturas más altas facilitando mucho el proceso de fundición, algunos de los materiales que sus altas temperaturas permite fundir son:

- **Hierro fundido gris:** La aleación más común que se funde en hornos de cubilote, utilizada para fabricar una variedad de componentes industriales.



- **Hierro fundido nodular:** También se puede fundir en el cubilote, aunque a menudo requiere un tratamiento adicional (inoculación de magnesio) para mejorar sus propiedades mecánicas.
- **Hierro blanco:** Aunque es más difícil de trabajar que el hierro gris, se puede fundir en un cubilote y se utiliza para aplicaciones donde se necesita alta resistencia al desgaste.
- **Bronce y latón:** Si se ajusta adecuadamente el coque y la temperatura, el horno de cubilote puede fundir aleaciones no ferrosas como el bronce y el latón, aunque no son tan comunes.

4.7.3.3 Consideraciones para el horno de cubilote:

La cantidad total de la carga del horno de cubilote es de 1.2 T a 3T por día por lo que se plantea que se puedan fundir dos cargas de chatarra, siempre y cuando la densidad del material este dentro de los 7.84 g/cm^3 . Además de la densidad del material a fundir se deberá tomar en cuenta la distribución del espacio que se utilizará para cada material que se cargará en el cubilote.

Para el Horno propuesto se planea usar una distribución en base a un proyecto anterior.

1. Software:

- **Autodesk AutoCAD 2024:** Para el modelado tridimensional del hornocubilote.
- **SolidWorks 2020:** Útil para la conversión de planos 2D a



modelo 3D

2. Bases de Datos:

- MATWEB: Proporciona propiedades térmicas y mecánicas de materiales utilizados en el diseño virtual.

4.7.3.4 Materiales para Análisis

- Residuos Metálicos:

- **Escoria de Cobre:** Analizada para el potencial de reciclaje y reutilización en el proceso de fundición.
- **Virutas de Hierro y Acero:** Residuos metálicos locales disponibles en Juliaca, utilizados en simulaciones.

- Materiales de Aislamiento:

- **Lana Mineral:** Para el aislamiento térmico del horno, minimizando pérdidas de calor y aumentando la eficiencia energética.
- **Paneles de Fibra Cerámica:** Ofrecen protección adicional contra el calor y reducen la transferencia de temperatura al exterior del horno.

- Datos Climatológicos y Geográficos:

- **Temperaturas Locales:** En Puno, las bajas temperaturas ambientales y la altitud extrema afectan la operación eficiente de los hornos de cubilote. A esta altura, se requiere más combustible



y tiempo para alcanzar las temperaturas de fusión, ya que el entorno frío provoca pérdidas térmicas significativas. A continuación, se plantean soluciones clave para mitigar estos efectos:

- **Mejora del aislamiento térmico:** Las condiciones climáticas de Puno generan un clima frío que afecta a la velocidad y facilidad con la que se alcanza las temperaturas requeridas para la fundición.

- **Solución:**

1. Utilizar refractarios de alta eficiencia térmica para reducir las pérdidas de calor hacia el ambiente. Estos materiales ayudan a mantener la temperatura interna estable durante el proceso.
2. Implementar un revestimiento adicional con materiales aislantes cerámicos que reduzcan la transferencia térmica hacia el exterior.

- **Presión Atmosférica y Humedad:** Al operar un horno de cubilote a gran altitud, como en Puno (3,800 m s.n.m.), es fundamental adaptar el sistema de ventilación para afrontar los desafíos que presenta la menor concentración de oxígeno y el clima ventoso y húmedo. Estos factores pueden afectar la eficiencia de la combustión del coque y la evacuación de gases, lo que demanda soluciones específicas. A continuación, se plantean algunas consideraciones clave:

1. **Efecto de la baja concentración de oxígeno:**

- La menor cantidad de oxígeno disponible reduce la eficiencia de



la combustión, lo que puede resultar en un consumo más alto de coque y temperaturas insuficientes para fundir el metal.

Solución:

Ventiladores de alta potencia y sistemas de sopladores que aseguren un mayor flujo de aire hacia las zonas críticas del horno, maximizando el oxígeno disponible para la combustión.

Ajustar la posición y capacidad de las toberas para mejorar la distribución del aire.

2. Impacto del viento y la humedad en la salida de gases:

- Los vientos fuertes pueden alterar el tiraje del horno, afectando la extracción de gases calientes. Además, la humedad aumenta el riesgo de condensación en las paredes del horno y puede degradar los materiales refractarios.

Solución:

1. Implementar chimeneas protegidas contra el viento para evitar fluctuaciones en la salida de gases.
2. Control de tiraje regulado que evite la intrusión de aire húmedo en el proceso y asegure una extracción estable.
3. Almacenar coque y materias primas en espacios cubiertos para evitar que absorban humedad antes de su uso.

3. Parámetros de Funcionamiento:

- **Presión y Caudal de Aire:** Los ajustes de esta característica son esenciales para el correcto rendimiento del horno y optimizar el proceso de fundición en el horno de cubilote:
- La presión y el caudal del aire influyen en la correcta alimentación del combustible además de asegurar un correcto proceso de fusión.



- Se recomienda utilizar sopladores que tengan una potencia de 750w con un volumen de 10.6 m³/min.
- **Temperatura de Fusión Objetivo:** Esta será la temperatura mínima que se deberá de alcanzar para asegurar la fundición de los metales, para ellos se recomienda alcanzar una temperatura promedio de 1500 °C, para ello se deberá tomar en cuenta la proporción del coque y la relación Aire-Combustible

Para alcanzar con efectividad la temperatura necesaria se establecerá una relación entre el coque y el punto de fusión de los materiales a fundir es directa: a mayor punto de fusión, mayor será la cantidad de coque necesaria para alcanzar y mantener la temperatura óptima de fusión. Además, el ajuste adecuado de la cantidad de coque y el suministro de aire es crítico para lograr una combustión eficiente que asegure la calidad del metal fundido y la eficiencia energética del proceso.

4.8 MÉTODOS

4.8.1 Modelado en CAD:

El proceso de diseño del horno cubilote comenzó con la creación de un modelo tridimensional detallado utilizando **Autodesk AutoCAD 2024**. Este software permitió representar de manera precisa las dimensiones y la disposición de las partes clave del horno, como el crisol, las toberas de aire y el revestimiento interno. Dado que el horno debía adaptarse a las condiciones específicas de Juliaca, el diseño también consideró las dimensiones y características operativas que mejor se ajustan a los requerimientos locales, asegurando que el modelo no solo fuera teórico, sino también práctico y aplicable en un contexto real. Además, se tuvieron en cuenta los materiales que potencialmente se emplearían



en la construcción, buscando aquellos que ofrecieran el mejor equilibrio entre resistencia térmica y durabilidad.

4.8.2 **Extrusión de los planos 2D a un modelo 3D en SolidWorks**

Para complementar el diseño inicial realizado en AutoCAD, los planos en 2D fueron transferidos a SolidWorks para crear un modelo tridimensional más detallado del horno de cubilote. Esta herramienta permitió transformar las representaciones planas en geometrías completas, facilitando una visualización más precisa de cómo se ensamblarían las piezas clave, como las toberas, el crisol y el revestimiento. SolidWorks también ofreció una ventaja al permitir ajustes rápidos durante la fase de diseño, asegurando la coherencia entre la teoría y la práctica operativa.

Además, esta plataforma proporcionó un entorno de simulación que permitió evaluar posibles conflictos entre piezas, analizar interferencias y verificar que las dimensiones y tolerancias fueran las adecuadas. Esto fue crucial para garantizar que todos los componentes encajen correctamente y que el ensamblaje del horno en Juliaca se realice sin inconvenientes. Con el modelo 3D finalizado, se obtuvo una base sólida para realizar simulaciones adicionales, como análisis térmicos y estructurales, facilitando una transición más fluida a la etapa de construcción.

4.8.3 **Capacidad del Horno en Base a la Densidad del Material:**

El horno de cubilote que se plantea construir es un horno de una capacidad de 1.3T a 2T por sin embargo para llegar a esa carga se requerirá que se distribuyan correctamente las cantidades de los materiales, chatarra, coque y el fundente (Piedra Caliza) para no sobrecargar el horno y que este no se vea



afectado por el peso de su carga por lo que se realizaron las siguientes verificaciones en base a los materiales que se estima el horno podrá fundir:

Utilizando una proporción de una cama de coque de 30% más el 10% de coque como piedra caliza como fundente (Medina,2009, 147).

La capa de Coque utilizara un área de 0.3712m^3 :

$$V_{\text{coque}} = \pi r^2 x h$$

$$V_{\text{coque}} = \pi x (0.628 \text{ m})^2 x 0.3 \text{ m}$$

$$V_{\text{coque}} = \pi x 0.394\text{m}^2 x 0.3\text{m} = \pi x 0.1182\text{m}^3 = 0.3712\text{m}^3$$

Haciendo una resta de ambos volúmenes obtenemos que:

$$V_{-\text{coque}} = 0.428 \text{ m}^3 - 0.3712 \text{ m}^3 = 0.0568 \text{ m}^3$$

De este volumen el 10% será para la piedra caliza y el 92% quedará para el metal a fundir:

- **Volumen de la piedra caliza**

$$V_{\text{caliza}} = 0.1 x 0.0568 \text{ m}^3 = 0.00568 \text{ m}^3$$

- **Volumen del Metal Fundido**

$$V_{\text{Metal}} = 0.9 x 0.0568 \text{ m}^3 = 0.05112$$

Una vez obtenido el volumen del metal se podrá calcular la capacidad multiplicándolo por la densidad de los metales a fundir.

- **Hierro Fundido Gris** (Densidad = 7350 KG/m^3)



$$V_{Metal} = 0.05112 \text{ m}^3 \times 7350 \text{ kg/m}^3 = 375.73 \text{ kg}$$

- **Hierro Fundido Nodular** (Densidad = 6920KG/m³)

$$V_{Metal} = 0.05112 \text{ m}^3 \times 6920 \text{ kg/m}^3 = 353.75 \text{ kg}$$

- **Hierro Blanco** (Densidad = 7870 KG/m³)

$$V_{Metal} = 0.05112 \text{ m}^3 \times 7870 \text{ kg/m}^3 = 402.31 \text{ kg}$$

- **Bronce** (Densidad = 2.600 kg/m³)

$$V_{Metal} = 0.05112 \text{ m}^3 \times 2600 \text{ kg/m}^3 = 132.91 \text{ kg}$$

- **Latón** (Densidad = 8.100 kg/m³)

$$V_{Metal} = 0.05112 \text{ m}^3 \times 8100 \text{ kg/m}^3 = 414.07 \text{ kg}$$

4.9 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS OPERATIVOS:

En esta fase, se utilizó **MATLAB** para modelar el equilibrio de masa y energía del proceso de fundición. Este análisis fue esencial para determinar cuánta energía se necesita para fundir diferentes tipos de residuos metálicos. Ajustamos los parámetros como la temperatura de operación, el flujo de aire, y la cantidad de combustible necesario, basándonos en las simulaciones realizadas. Estos ajustes aseguran que el horno opere de manera eficiente y efectiva, adaptándose a las condiciones específicas del entorno y del material a fundir. A través de esta evaluación, logramos un entendimiento más profundo de cómo optimizar los recursos y el proceso operativo, contribuyendo a un diseño que no solo es técnicamente sólido, sino también sustentable y eficiente en el uso de recursos.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS

Tabla 2

“Diseño”

Variables de Diseño		
Horno	Diámetro interno	600 mm
	Altura	1380
	Relación altura- diámetro	02:01
	Capacidad de carga mínima	2Tn
	Capacidad de carga máxima	2.3Tn
	Material refractario	Tipo
Grosor		12.6 mm
Toberas	Numero	4
	Tamaño	8 cm
Sistema de soplado de aire	Potencia	6.48 kW. /cada tobera
	Presión	1200 Pa
Combustible	Tipo	Coque

Nota: Tabla resumen de las variables de diseño del horno cubilote, fuente propia

Tabla 3

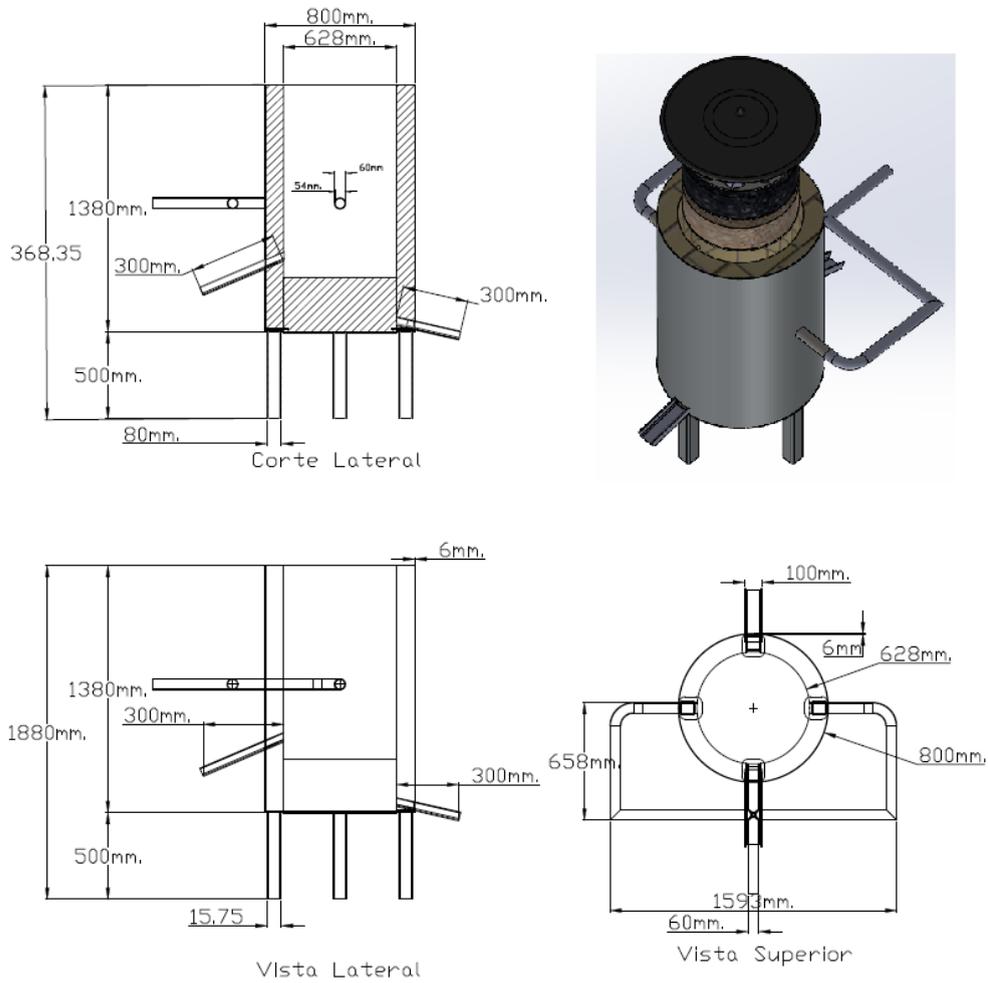
“Operación”

Variables de operación		
Temperatura de fusión	1500 °C -1700 °C	
Flujo de aire	10.6 m ³ /min	
Velocidad de carga	1.5 horas / 2 Tn	
Relación combustible/metal	01:11	
Composición de la carga	2000 kg de chatarra, 182 kg de coque, 40 kg de caliza.	
Tiempo de fusión	1.5 horas	
%Recuperación	90%	
Consumo de combustible	91 kg de coque/ Tn	

Nota: Tabla resumen de las variables de operación del horno cubilote, fuente propia.

Figura 11

“Modelado del Horno en AutoCAD”



Nota: Planos Horno cubilote, diseñado en AutoCAD, fuente propia.

Figura 12

“Plano de Tapa”

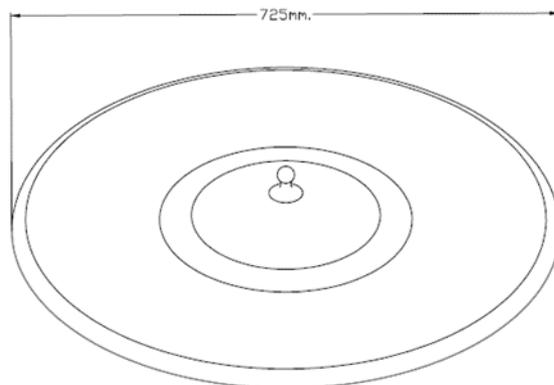
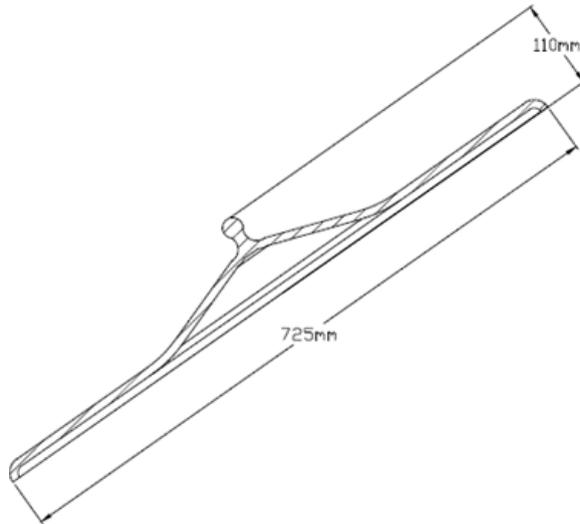


Figura 13

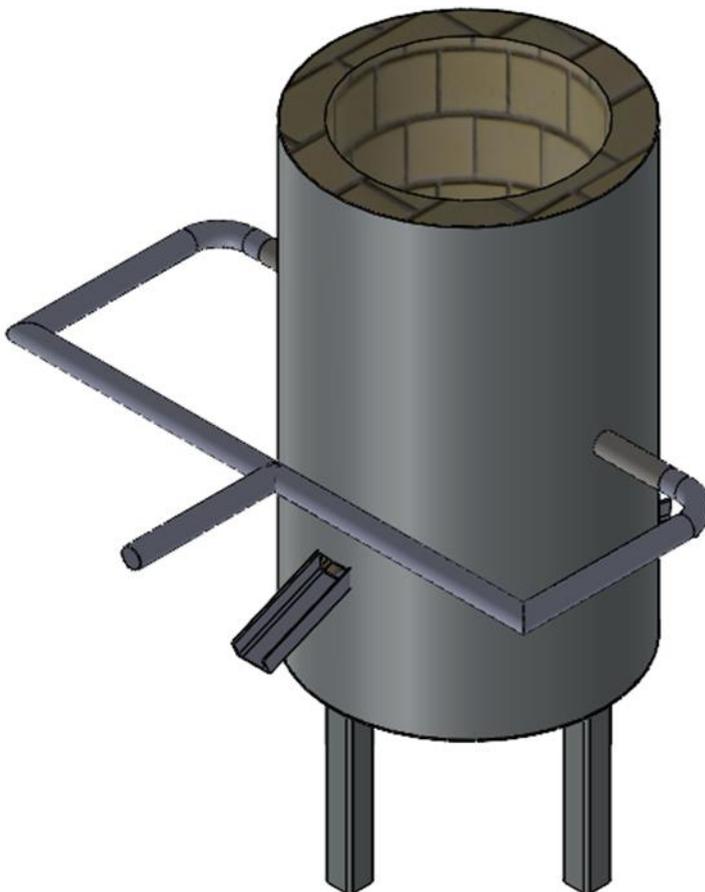
“Tapa del Horno”



Nota: Plano Tapa Horno cubilote, diseñado en AutoCAD, fuente propia.

Figura 14

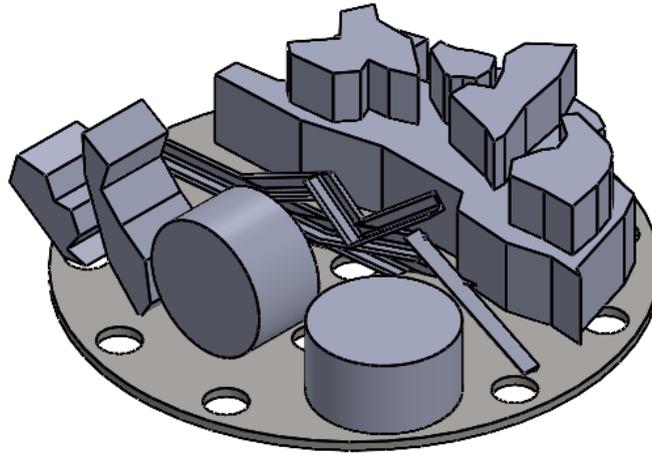
“Modelado del Horno en SolidWorks”



Nota: Horno cubilote, diseñado en SolidWorks, fuente propia.

Figura 15

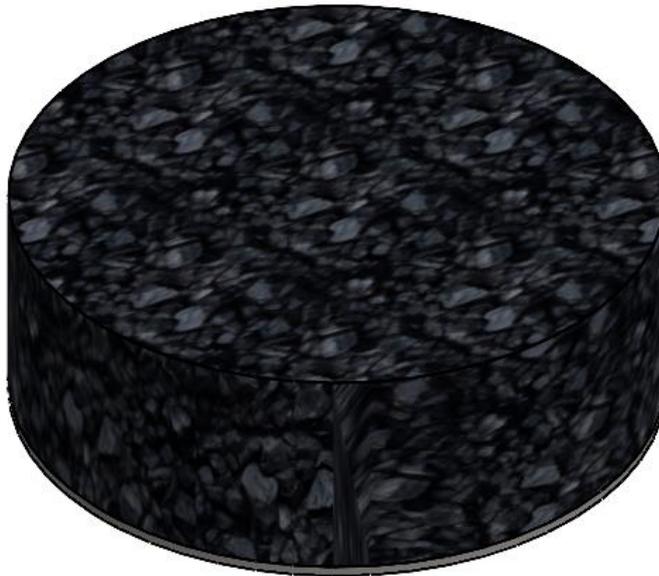
“Carga de chatarra”



Nota: Ejemplo de Carga de Chatarra, diseñado en SolidWorks, fuente propia.

Figura 16

“Carga de coque”



Nota: Referencia de Carga de Coque, diseñado en SolidWorks, fuente propia.

Figura 17

“Carga de caliza”



Nota: Referencia de Caliza, diseñado en SolidWorks, fuente propia.



VI. CONCLUSIONES

- Se determinó la capacidad de carga, el material refractario seleccionado, la cantidad de toberas, la potencia y la presión de soplado de aire y el tipo de combustible para la operación, también tenemos otras variables de diseño que son: diámetro interno, altura, relación altura – diámetro, capacidad de carga, Y las variables de operación: temperatura de fusión, flujo de aire, velocidad de carga, relación combustible – metal, composición de la carga, tiempo de fusión, % de recuperación y consumo de combustible y fundente.
- Las especificaciones técnicas diseñadas para un rendimiento eficiente del horno cubilote son, altura 1880 mm, diámetro interno 628 mm, diámetro externo, 800mm, altura efectiva 1380 mm. Numero de toberas 4, volumen interno, 0.428m^3 , capacidad efectiva 85%, % de recuperación 90%, flujo de aire $10.6\text{ m}^3/\text{min}$, coque como combustible, distribución de componentes: 70% Chatarra, 25% Coque y 5% Fundente (Caliza). Estas medidas se pueden apreciar en la figura 5.1.
- El horno cubilote diseñado es eficiente en la reducción de la chatarra metálica y la contaminación del suelo es por ello que podemos procesar en su totalidad la chatarra generada en un día en la ciudad de Juliaca, con tan solo dos cargas, lo que supone una solución altamente eficiente. Esta capacidad de procesamiento no solo permite disminuir los residuos acumulados, sino que también puede reducir la contaminación por residuos sólidos entre un 2 a 5%, contribuyendo a una mejor huella ambiental.



VII. RECOMENDACIONES

- La contaminación ambiental es un problema que nos afecta a todos por igual, no se limita a la ciudad de Juliaca, al día se producen miles de toneladas de basura en el Perú. Si bien enfrentar esta contaminación supone un desafío a nivel global, centrarnos únicamente en la contaminación por acumulación de residuos sólidos propone una alternativa más eficiente y tangible, también debemos considerar que en el proceso de fundición se generan distintos compuestos liberados a la atmósfera que suponen un riesgo al medio ambiente, si bien es en menor cantidad al beneficio generado, tampoco podemos ignorarlo. Es por ello que, en afán de seguir mejorando por el medio ambiente, debemos implementar tecnología de vanguardia que optimice el uso de combustibles, minimice las emisiones de gases contaminantes y maximice la capacidad de procesamiento, así como aumentar el porcentaje de recuperación en el horno cubilote.
- Por otro lado, este proyecto de investigación se centró únicamente en la ciudad de Juliaca, en el 30% de la basura que no es tratada por la Municipalidad Provincial de San Román. Sin embargo, incluso en ese 70%, hay basura que no es tratada de la forma correcta, en las celdas transitorias de Huanuyo mismas que llegaron a su colapso en el 2021, se puede observar la presencia de residuos metálicos que bien pueden ser tratados mediante la fundición en el horno cubilote que hemos diseñado. Ampliar este proyecto a los distintos reservorios, aumentaría la capacidad de los mismos y reduciría la acumulación de residuos metálicos.
- Finalmente, la Municipalidad Distrital de San Román deberá elaborar un mejor plan de tratamiento de residuos para aumentar la eficiencia de la gestión de



desechos sólidos y sea menor la cantidad de basura que termine tirada en las
calles.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero galvanizado. (2022, septiembre 22). Kloeckner Metals Corporation. <https://www.kloecknermetals.com/es/products/carbon-flat-roll/galvannealed-steel/>
- Acero Inoxidable 201. (2018, abril 13). NKS. <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-201/>
- Agencia de Protección Ambiental. (2020). Reducing Greenhouse Gas Emissions through Recycling and Composting. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>
- Aristizábal, R., Mejía, H., Pineda, D., & Marcelo, R. (2005). Modelo matemático para los fenómenos de combustión en un horno de cubilote.
- ASTM International. (2020). ASTM Standards on Pipe and Tube. ASTM Standards.
- Bran, B. (2021). Diseño de un horno de cubilete uso didactico.
- Bustamante, F. (2019, diciembre 31). El problema de las celdas de emergencia de Huanuyo, durante el 2019. En LA DECANA RADIO JULIACA. La Decana - Radio Juliaca. <https://ladecana.pe/el-problema-de-las-celdas-de-emergencia-de-huanuyo-durante-el-2019/>
- Callister, W.D., & Rethwisch, D.G. (2015). Materials Science and Engineering: An Introduction (9th ed.). John Wiley & Sons.
- Cayra Uscamayta, F. (2024). La contaminación ambiental y la gestión de residuos sólidos en la Municipalidad Provincial de San Roman Juliaca-2023.
- Cedeño, E., Cruz, A., Perdomo, L., La Rosa, S., Jerez, R., & Baños, A. (2013). Evaluación del impacto ambiental de las escorias de cubilote de la fundición "Román Roca".
- Chicharro, A., Cala, V., Martín, M. T., & Larrea, M. T. (1998). Impacto ambiental por metales pesados en suelos y plantas del entorno de un depósito de chatarra procedente de automóviles de desguace. Revista de metalurgia, 34(Extra), 421-



426.

- Consejo Nacional del Ambiente (CONAM). (2019). Informe sobre la situación de la gestión de residuos en el Perú. Lima, Perú: CONAM. Recuperado de <https://www.conam.gob.pe>
- Culcasi, J. D., Elsner, C. I., & Sarli, A. D. (2010). Hojalata: Evaluación de su Comportamiento frente a la Corrosión en Medios Acuáticos. 21, 149–162. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642010000300017>
- Cruz Trejo, R. (2024). Diseño y manufactura de un soplador centrífugo para hornos de combustión aire–gas.
- Custodio, C. (2006). Proceso de fusión en el Cubilete.
- Davies, G. (2012). Materials for Automobile Bodies. Elsevier.
- Davis, J. R. (1993). ASM Specialty Handbook: Carbon and Alloy Steels. ASM International.
- Davis, J.R. (2001). Metals Handbook, Desk Edition. ASM International.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw Hill.
- Hoyos Mondragon, E. A., & Cieza Castillo, M. R. (2020). Estudio de prefactibilidad de la instalación de una planta de producción de antimonio a partir de concentrado de estibina
- Lezama, A., & Zuñiga, D. (1991). Diseño y construcción de un horno de cubilte.
- Materiales y fabricación. (2022, marzo 9). La Universidad Del Rodamiento. <https://launiversidaddelrodamiento.es/introduccion-tecnologia-los-rodamientos/materiales-y-fabricacion/>
- Materias primas y composición química de malla tejida de metal. (s/f). Dashangmesh.com. Recuperado el 11 de octubre de 2024, de <https://www.dashangmesh.com/es/news/metal-woven-mesh-raw-materials-analysis.html>



- Medina, J., & Taco, J. (2009). Diseño y construcción de un horno cubilote con aire precalentado para fines didácticos.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2023 2). Gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/4045788-informe-anual-de-residuos-solidos-2021-2022>
- Morales, J. (2019). Impacto del diseño del cubilote y uso del combustible en la calidad de las fundiciones grises del norte peruano.
- No title. (s/f). Gob.pe. Recuperado el 10 de octubre de 2024, de <https://www2.congreso.gob.pe/sicr/tradocestproc/clproley2001.nsf/pley/6961FD68D3FF85FC05256D25005CFAC0?opendocument>
- Pecharromán, D. R., Delgado, J. T., & Ruiz, L. P. (2024). Caracterización ambiental de escorias de fundición de cobre mediante ensayos de lixiviación normalizados. *Revista Digital del Cedex*, (204), 21-34.
- Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024. (s/f). Gob.pe. Recuperado el 10 de octubre de 2024, de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-nacional-gestion-integral-residuos-solidos-2016-2024>
- Raghavan, V. (2004). *Materials Science and Engineering*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Rem, P. (2021). *Recycling of End-of-Life Products: A Review of Current Processes and Technologies*.
- Salas, W. (2006). Optimización de hornos de crisol y cubilote en las empresas metalúrgicas de la ciudad de Cali.
- Schnurer, J. (2019). Environmental Impact of Waste Management. *Environmental Studies Journal*, 34(2), 45-52.
- Smith, J., & Brown, L. (2020). *Thermal Processes in Metallurgy: An Overview*.
- Tirado, I. (2018). Evaluación del funcionamiento técnico del horno de cubilote en la fundición de hierro de la Empresa Centro Mecanizado Pérez de la ciudad de Ambato para la mejora de la eficiencia térmica. Propuesta de reformas técnicas



al horno.

Tolva (80 L) para Carretilla Truper 11896. (s/f). Prosinfer. Recuperado el 11 de octubre de 2024, de <https://prosinfer.pe/product/tolva-80-l-para-carretilla-truper-11896/>

Vilca, G. M. (2020). Capacidad operativa de las celdas transitorias de Huanuyo, distrito de Cabanillas, Provincia de San Roman, Departamento de Puno. https://issuu.com/emirmajed/docs/reporte_obs_conflictos_3_final__3_/28

Zea, Z. (2023, noviembre 21). Juliaca, una ciudad inundada en basura: ¿por qué? La República.pe. <https://larepublica.pe/sociedad/2023/11/21/juliaca-una-ciudad-inundada-en-basura-por-que-puno-municipalidad-de-san-roman-lrsd-859698>

ANEXOS

Anexo 1. Fotografía 1 por concentración de basura y residuos metálicos en la ciudad de Juliaca



Anexo 2. Fotografía 2 por concentración de basura y residuos metálicos en la ciudad de Juliaca



Anexo 3. Fotografía 3 por concentración de basura y residuos metálicos en la ciudad de Juliaca



Anexo 4. Fotografía 4 por concentración de basura y residuos metálicos en la ciudad de Juliaca



Anexo 5. Fotografía 5 por concentración de basura y residuos metálicos en la ciudad de Juliaca



Anexo 6. Fotografía 6 por concentración de basura y residuos metálicos en la ciudad de Juliaca



Anexo 7. Fotografía 7 por concentración de basura y residuos metálicos en la ciudad de Juliaca



Anexo 8. Fotografía 8 por concentración de basura y residuos metálicos en la ciudad de Juliaca



Anexo 9. Fotografía 9 por concentración de basura y residuos metálicos en la ciudad de Juliaca



Anexo 10. Fotografía 10 por concentración de basura y residuos metálicos en la ciudad de Juliaca



Anexo 11. Tabla resumen de los residuos metálicos encontrados en la ciudad de Juliaca

Nº	Residuo	Material	Composicion	Designacion
1	Rodamientos	Acero	0.1%C 1.5%Cr	100Cr6
2	Latas de pintura	Acero y estaño	29% C 10% Sn 5.5% Cr	Hojalata
3	Tolva de carretilla	Acero inoxidable calibre 21	0.15%C 5,5%Mn 16%Cr 3.5%Ni	Inox 201
4	Parrilla para carros	Acero inoxidable	0.15%C 5,5%Mn 16%Cr 3.5%Ni	Inox 301
5	Red metalica	Acero	0.05 - 2%C	Acero al carbono liso
6	Tuberia rectangular galvanizada	Acero galvanizado	0.2%C 1.2%Mn	A653
7	Litera metálica	Acero	0.1% C	AISI 1010
8	Barra antihuelco	Acero de baja aleacion de alta resistencia	0.05%-0.25%C 1% - 1.5% Mn	ASTM A500
9	Puertas de automoviles	Acero de baja aleacion de alta resistencia	0.05%-0.25%C 1% - 1.5% Mn	ASTM A500
10	Chasis	Acero de baja aleacion de alta resistencia	0.05%-0.25%C 1% - 1.5% Mn	ASTM A500
11	Parrilla para carne	Acero inoxidable 304	18%Cr 8%Ni	AISI 304
12	Pletina roscada	Acero	0.18%C	AISI 1018
13	Pletina	Acero	0.18%C	AISI 1018
14	Chatarra liviana	Acero, aluminio y acero inox		
15	Chatarra pesada	Acero, aluminio y acero inox		
16	Carroceria	Acero avanzado de alta resistencia	0.05%-0.25%C 1% - 1.5% Mn	AISI 980 DP
17	Tubo de escape	Acero inoxidable 304	18%Cr 8%Ni	AISI 304
18	Ruedas de autos	Acero o aluminio	0.1%C	AISI 1010 6061-T6
19	Latas varias	Acero y estaño	29% C 10% Sn 5.5% Cr	Hojalata
20	Calaminas	Acero galvanizado	0.2%C 1.2%Mn	A653
21	Rueda de motocicleta	Acero o aluminio	0.1%C	AISI 1010 6061-T6
22	Tarros de aceite	Acero y estaño	29% C 10% Sn 5.5% Cr	Hojalata
23	Alambre	Acero	0.1% C	AISI 1010
24	Refrigerador	Acero, aluminio y cobre	18%Cr 8%Ni 97%Al 99%Cu	AISI 304 AA6061
25	Somieres antiguos	Acero, hierro forjado	0.1 - 0.4%C	AISI 1010
26	Placas metalicas	Acero, acero inoxidable y aluminio	0.18%C 18%Cr 8%Ni 97%Al	AISI 1018 AISI 304 AA6061
27	Tuberias	Acero, aluminio y cobre	0.18%C 97%Al 99%Cu	A106B AA6061
28	Cocina a gas	Acero inoxidable y hierro fundido	18%Cr 8%Ni 2 - 4%C	AISI 304
29	Rejas	Acero, hierro forjado y aluminio	0.1-0.2%C	AISI 1010 AA6061



Anexo 12. Autorización de depósito de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo WILBER KANDY COCHA MAMANI
, identificado con DNI 77422913 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA METALURGICA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

"DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN HORNO CUILOTE PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO EN LA CIUDAD DE JULIACA - REGION PUNO"

"Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de DECEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)
WILBER KANDY COCHA MAMANI
77422913



Huella



Anexo 13. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo WILBER RANDY COOPA MAMANI
identificado con DNI 77422913 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA METALURGICA

,informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado

Título Profesional denominado:

" DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN HORNO CUSILOTE PARA DISMINUIR
LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO EN LA CIUDAD DE JULIACA - REGION PUNO
" Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de DICIEMBRE del 2024

FIRMA (obligatoria)

WILBER RANDY COOPA MAMANI
77422913



Huella