

“AÑO DE LA CONSOLIDACIÓN DEL MAR DE GRAU”

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS:

ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE TRES TAMAÑOS DE ANTRACITA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE COMBUSTIÓN DE LA PIEDRA CALIZA EN LA EMPRESA MINERA NO METÁLICA SIEMPRE VIVA S.A. U/P RUMICHACA- LIRCAY

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

BACH: JANAMPA RUA, Pelayo

BACH: QUISPE ÑAHUI, Mario

ASESOR:

Msc. Ing. Quispealaya Armas, Luis

LIRCAY -

HUANCAMELICA 2015

Acta de Sustentación de tesis de los Bachilleres
 Yanampa Rúa Pelayo Quirope Nahui Mario



En la Ciudad de Lircay, Páramo de la Finca de la Universidad Nacional
 Huancavelica a los catorce días del mes de enero del dos mil quince
 horas 2:00 P.m. se reunieron los miembros del jurado Calificador
 conformado por el Presidente Ramírez Rosales Felisiano G., Secretario H.Sc.
 Enriquez Dorantes Amado y Vocal H.Sc. Rodríguez Daga, Jorge Ue
 El presidente del jurado dio lectura de la Resolución de Consejo de Facultad
 033-2015-FINCA-UNH, se autoriza la sustentación de la tesis
 nominado "Estudio del Rendimiento de tres Tipos de Arcilla para
 la Optimización de Combustión de la Piedra Caliza en la Empresa
 Minera No Metálica Siempre Viva S.A. U/P. Pucallaca - Lircay"
 para lo cual se otorga 30 minutos para su Exposición a los
 bachilleres Yanampa Rúa Pelayo y Quirope Nahui Mario una vez
 concluida la Sustentación de la tesis, para a la siguiente fase
 a la ronda de Preguntas por parte de los miembros del jurado
 los mismos que son respondidos por los sustentantes, se le invita
 al público asistente incluido a los sustentantes salir del aula
 por unos minutos para la deliberación del resultado en privado
 a parte de los miembros del jurado calificadores de lectura el
 acta de Sustentación, siendo el resultado final Aprobado por
 mayoría, de esta manera se da por concluida la sustentación de la
 tesis a horas 2:59 P.m. firmando los miembros del jurado
 en señal de conformidad.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA
 DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
 DE LA ORGANIZACIÓN TECNOLÓGICA
 HUANCABELICA

Mg. Alejandro Rodrigo Quirope Castro
 SECRETARIO GENERAL

15 ABR 2016

Ramírez Rosales Felisiano G.
 Presidente

H.Sc. Enriquez Dorantes Amado
 Secretario

H.Sc. Rodríguez Daga, Jorge Ue
 Vocal

DEDICATORIA

A mis padres, por su apoyo perseverante a través del tiempo, a mis hermanos y hermanas por su apoyo económico y moral.

Mario

A mi esposa por su apoyo firme en mi vida profesional, a mis hijos por su apoyo moral perseverante.

Pelayo

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarnos salud y vida, para poder culminar esta meta.

Al Ing. Wilder Janampa Martínez Administrador de la Empresa Minera No Metálica Siempre Viva S.A., Unidad de Producción Rumichaca - Lircay, por darnos la facilidad de realizar nuestros experimentos de investigación dentro de sus instalaciones.

A nuestros docentes universitarios de la Facultad de Ingeniería Minas Civil Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica, por contribuir con sus conocimientos y experiencias en nuestra formación profesional.

A nuestro asesor, el MSc. Ing. Luis Quispealaya Armas por su tiempo y dedicación en la consecución de la presente investigación.

Finalmente agradecemos a todas las personas que participaron directa o indirectamente en la elaboración del presente trabajo, sin su ayuda no hubiese sido posible.

Mario y Pelayo

RESUMEN

El presente estudio se ha realizado en la empresa Minera No Metálica Siempre Viva S.A U/P Rumichaca - Lircay, extrae caliza por método de explotación de canteras a cielo abierto, se encuentra en el distrito de Lircay, provincia de Angaraes, departamento de Huancavelica.

La investigación tuvo como objetivo, estudiar el rendimiento de tres tamaños de antracita para la optimización de combustión de la piedra caliza, al ser sometida al proceso de cocción en el horno de la referida unidad de producción industrial de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal apagada). Se ha planteado como problema:

¿Cómo se estudia el rendimiento de tres tamaños de antracita para la optimización de combustión de la piedra caliza ?, mientras la hipótesis alterna H_1 fue :El estudio del rendimiento de tres tamaños de antracita optimiza la combustión de la piedra caliza , en seguida la hipótesis nula H_0 es : El estudio del rendimiento de tres tamaños de antracita no optimiza la combustión de la piedra caliza ; asimismo, el estudio corresponde a la metodología experimental, la población fue todos los materiales de caliza y antracita de diámetros determinados cargados al horno en la cantera y la muestra ha sido la cantidad quemada y/o no cocinada, observada al final del proceso de horneado.

Los resultados del análisis de tres tamaños de antracita producto de la combustión de la piedra caliza, fueron: El experimento 01 de quemada de la caliza en el horno con un diámetro de antracita de 4 pulgadas en un tiempo de 24 horas en cada etapa a una temperatura de: 1000 °C en pre- combustión , 1200 °C de combustión , 1000 °C de pre-enfriamiento. Nos dio una combustión mala, incompleta al 85,05 %; haciendo que el 15 % de caliza cargada al horno no se quemó totalmente. El experimento 02 con diámetro de antracita de 3 pulgadas, obtuvo una combustión regular de quemado de la caliza al 88,04 %, quedando incompleto la cocción de la caliza en 12 %.Del mismo modo, el experimento 03 con un diámetro de antracita de 1,5 pulgadas, realizó una combustión

completa (buena) de la caliza al 100 %; es decir para no incurrir en pérdidas deberá reducirse el tamaño de antracita a 1,5" de diámetro.

Se llegó a determinar que en el horno de la minera industrial se procesa 8 750 Kg. de caliza por día con 1 440 Kg. de carbón antracita por día como combustible; por lo tanto al quemar con 4" de antracita se obtuvo 1 300 Kg. de calizas inquemadas; con antracitas de 3" de diámetro se obtuvo 1 040 Kg. de calizas inquemadas y con combustibles de antracitas de 1,5 a 2" de diámetro no se obtuvo residuos de calizas inquemadas. Las pérdidas económicas que involucra el proceso por inquemados de calizas es 0,27 S/. por Kg. y 0,80 S/. por Kg. de carbón antracita inquemados.

La evaluación del estudio, medida con la Relación Beneficio Costo(R B/C), como indicador de rentabilidad que determina la viabilidad financiera del proyecto productivo, nos dio: Con antracita de 4" una R B/C= 0,94 que significa pérdida, con antracita de 3" una R B/C= 1,00 que también significa pérdida y con 1,5" de antracita se obtuvo una R B/C= 1,34; que significa ganancia, esta última significa que: Por cada sol invertido, dicho nuevo sol fue recuperado y además se obtuvo una ganancia extra de 0,34 nuevos soles.

En consecuencia, el tercer tratamiento de quemado de la caliza en el horno industrial nos dio un tamaño óptimo de antracita que corresponde una masa de 29 gr, volumen 21,63; con diámetros de 1,55 pulgadas de antracita; mientras a la caliza le corresponde una masa de 2 Kg. Con diámetro de 4". Decidiendo que el tamaño pequeño de antracita optimiza la combustión de la piedra caliza en la Mina No Metálica Siempre Viva.

Finalmente, en el aspecto ambiental, producto de la observación en cantera y en función al modelo Matriz de "Sistema Integrado de Gestión y Control-SIGYCO-2015-Colombia", se determina que los procesos incompletos que obtienen productos inquemados de caliza, antracita; genera contaminación moderada al aire, pero si severa a la persona, suelo e irrelevante al agua y además crea problemas por requerís cancha de acumulación de residuos de desmonte; en cambio cuando la combustión es completa o total , todo impacto es mínimo.

SUMMARY

This study was conducted in Non-Metal Mining Company Siempre Viva SA - Production Unit Rumichaca, limestone extracted by way of exploiting open pits, is located in the district of Lircay, Angaraes province, department of Huancavelica.

The research aimed the determination of the size of anthracite showing complete combustion of limestone when subjected to the cooking process in the oven of that unit of industrial production of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (slaked lime). Has been raised as a problem: What size anthracite shows complete combustion of limestone in the Non-Metallic Mining Company Siempre Viva SA - Production Unit Rumichaca ?, while the hypothesis was: The small sample size of anthracite complete combustion of the stone small limestone and anthracite does not show complete combustion of limestone, respectively as an alternative and null; The study also corresponds to the experimental methodology, the population was all materials limestone and anthracite certain diameter and loaded baked sample was burned quantity and / or uncooked, observed at the end of the baking process.

The analysis results of three sizes of anthracite combustion product of limestone, were: Experiment 01 limestone burned in the kiln with a diameter of 4 inches anthracite in a time of 24 hours at a temperature of 1000 °C gave a bad, incomplete combustion to 85.05%; causing 15 % limestone was not charged baked completely burned; Experiment 02 anthracite diameter of 3 inches, obtained a regular combustion burning limestone to 88.04%, leaving incomplete firing limestone at 12 %; Similarly, the experiment 03 with a diameter of 1,5 inch anthracite, conducted a full (good) combustion limestone 100 %; ie not to incur losses should be reduced anthracite size 1,5 "diameter.

It was ultimately determined that the industrial furnace is processed mining 8750 Kg. limestone with 1440 Kg per day. Anthracite coal as fuel per day; therefore when burning 4 "was obtained anthracite 1300 Kg. inquemadas of limestones; with anthracite 3 "in

diameter was obtained 1040 Kg. You quemadas limestone and anthracite fuels 1.5 to 2 "diameter not waste limestones quemadas was obtained. Economic losses involving the process unburned limestone is 0,27 S/. by Kg. and 0,80 S/. by Kg. unburned coal anthracite.

The evaluation of the study, measured using Benefit Cost Ratio (RB / C), as an indicator of profitability that determines the financial viability of productive project, gave us: With anthracite 4 "a BI / C = 0,94 which means loss, anthracite 3 "a BI / C = 1.00 and that also means loss with 1.5" anthracite rb / c = 1,34 was obtained; which means gain, the latter means: For every sun reversed, this new sun was recovered plus an extra gain of 0,34 Nuevo's soles was obtained.

Consequently, the third treatment limestone burned in the industrial kiln gave an optimal size corresponding anthracite a mass of 29 g, Volume 21,63; with diameters of 1,55 inches of anthracite; while limestone corresponds to a mass of 2 Kr. With diameter of 4 ".Deciding that the small size of anthracite optimizing fuel limestone in Siempre Viva Non-Metal mine.

Finally, on the environmental side, the result of observation quarry and according to the matrix model "Integrated Administration and Control System-SIGYCO-2015-Colombia", it is determined that incomplete processes to obtain products unburned limestone, anthracite; It generates moderate air pollution, but if the person severe, and irrelevant ground water and creates problems requeris court clearing waste accumulation; however when combustion is complete or total, any impact is minimal.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	19
1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS:	19
1.3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS.....	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICOS	19
1.4. JUSTIFICACIÓN	20

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES.....	21
2.1.1. A NIVEL NACIONAL	21
2.1.2. A NIVEL INTERNACIONAL	22
2.2. GEOLOGIA DEL PROYECTO.	30
2.2.1. GEOLOGIA REGIONAL.-	30
2.2.2. GEOLOGIA LOCAL.....	30

2.2.3. GEOMORFOLOGÍA.....	31
2.2.4. DESCRIPCION DEL YACIMIENTO	31
2.2.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	32
2.2.6. GEOLOGÍA ECONÓMICA.....	32
2.2.7. CALCULO DE RESERVAS	32
2.2.8. EVALUACIÓN DE RESERVAS.....	32
2.2.9. CARBÓN EN PERÚ.....	32
2.2.10. ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LAS MINAS DE CARBÓN	33
2.3. BASES TEÓRICAS.....	33
2.3.1. LA CALIZA	33
2.3.2. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE CaCO_3	34
2.3.2.1. PROCESOS QUÍMICOS	34
2.3.2.2. PROCESOS BIOLÓGICOS	34
2.3.2.3. PROCESOS CLÁSTICOS.....	34
2.3.3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA CALIZA.....	35
2.3.4. CLASIFICACIÓN DE LA CALIZA.....	35
2.3.5. LA CAL	37
2.3.6. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE CAL	42
2.3.7. HORNO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL	44
2.3.8. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL CaO	44
2.3.9. COMBUSTIÓN	46
2.3.10. PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA DE COMBUSTIÓN EN CALERA RUMICHACA	50
2.3.11. COMBUSTIBLES	51
2.3.12. SISTEMAS DE COMBUSTIÓN PARA HORNOS	60
2.3.13. QUEMADORES.....	65
2.3.14. ALIMENTACIÓN DE CARBÓN PULVERIZADO AL QUEMADOR	69
2.3.15. ANÁLISIS ECONÓMICO DE QUEMADORES	71
2.3.16. EL ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO.....	71
2.3.17. MEDIO AMBIENTE	72

2.3.18. CÁLCULOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE COMBUSTIÓN DE LA PIEDRA CALIZA.....	75
2.3.19. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN	80
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	81
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	81
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:.....	81
2.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	81
2.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES:	83

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO.....	85
3.2. TIPOS DE INVESTIGACIÓN	85
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	86
3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	86
3.4.1. MÉTODOS GENERALES.....	86
3.4.2. MÉTODOS ESPECÍFICOS.....	86
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	87
3.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	87
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	88
3.7.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	88
3.7.2. LOS INSTRUMENTOS.....	89
3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	89
3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	89

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE TRES TAMAÑOS DE ANTRACITA PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN DE LA PIEDRA CALIZA	90
4.2. RESIDUOS DE DESMONTE PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAL	93
4.2.1. RESUMEN DE CALCULOS QUE OPTIMIZA LA COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAL.....	94
4.2.2. EFICIENCIA DEL GRADO DE COMBUSTIÓN EN %.....	94
4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS TRES EXPERIMENTOS AL FINAL DE LA COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS.....	97
4.4. VALORACIÓN AMBIENTAL POR RESIDUOS DE DESMONTE PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN INCOMPLETA.....	100
4.4.1. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POR EL PARAMETRO DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN Y CONTROL - "SIGYCO"- COLOMBIA.....	100
4.4.2. IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL POR EL PARÁMETRO DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN Y CONTROL - "SIGYCO" COLOMBIA.....	102
4.4.3. EVALUACIÓN EN LA MATRIZ DE VALORACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES.....	103
4.5. ANÁLISIS DEL TAMAÑO ÓPTIMO DE ANTRACITA EN LA COMBUSTIÓN DE LA PIEDRA CALIZA	105
CONCLUSIONES	115
RECOMENDACIONES.....	117
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
ANEXOS.....	123

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Característica mineralógicas de la caliza.....	35
Tabla N° 2.2: Valores de equilibrio para la presión del dióxido de carbono a diversas temperaturas.....	37
Tabla N° 2.3: Características físico-químicas de tipos de cal viva.....	38
Tabla N° 2.4: Características del combustible: carbón antracita, de procedencia Santiago de Chuco, la Libertad.....	53
Tabla N° 2.5: Poder calorífico para distintas clases de combustibles.....	59
Tabla N° 2.6: Características fisicoquímicas de los aceites usados.....	60
Tabla N° 2.7: Pesos moleculares de los compuestos químicos de la reacción de Calcinación de la caliza.....	77
Tabla N° 2.8: Calor estándar de formación.....	78
Tabla N° 2.9: Alternativas de solución para la optimización de combustión.....	80
Tabla N° 2.10: Operacionalización de variables e indicadores.....	84
Tabla N° 3.1: Coordenadas UTM del proyecto.....	85
Tabla N° 3.2: Indicadores de cálculo de muestreo probabilístico.....	88
Tabla N° 4.1: Análisis de combustión incompleta de antracita en piedra caliza.....	90
Tabla N° 4.2: Análisis de combustión incompleta de antracita en piedra caliza.....	91
Tabla N° 4.3: Análisis de combustión completa de antracita en piedra caliza.....	91
Tabla N° 4.4: Análisis de desmonte x día en combustión incompleta (Inquemados)	93
Tabla N° 4.5: Resultados de cálculos de ingeniería de caliza y cal.....	94
Tabla N° 4.6: Eficiencia del grado de combustión en %.....	94
Tabla N° 4.7: Costos de operación de producción de cal.....	97
Tabla N° 4.8: Resultado de beneficio - costo.....	97
Tabla N° 4.9: Perdidas por desmontes en combustión incompleta.....	98
Tabla N° 4.10: Criterios de evaluación del impacto ambiental.....	100
Tabla N° 4.11: Valores de importancia del impacto ambiental.....	102

Tabla N°4.12: Matriz de identificación y valoración de aspectos e Impactos	
Ambientales.....	103
Tabla N° 4.13: Resumen estadístico de análisis de antracita en tamaño óptimo.....	105
Tabla N° 4.14: Frecuencias de la masa en gramos de antracita.....	106
Tabla N° 4.15: Frecuencias de la masa en volumen (cm ³) de antracita.....	107
Tabla N° 4.16: Frecuencias de diámetro en cm de antracita.....	108
Tabla N° 4.17: Frecuencia en pulgadas de diámetro de antracita.....	109
Tabla N°4.18: Calculo de la desviación estándar.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Diagrama de operación de hornos verticales a contracorriente...	62
Figura N°2.2: Funcionamiento de un horno horizontal rotativo para fabricar cal Viva.....	64
Figura N°2.3: Balance de la energía en el horno Vertical.....	75
Figura N°2.4: Flujos de calor en el horno.....	78
Figura N°4.1: Interpretación de la masa en gramos de antracita.....	110
Figura N°4.2: Interpretación de la masa en volumen (cm ³) de antracita.....	110
Figura N°4.3: Interpretación de la masa en diámetro (cm) de antracita.....	111
Figura N°4.4: Interpretación del diámetro de la masa en pulgadas de antracita.	111

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación denominado, “Estudio del rendimiento de tres tamaños de antracita para la optimización de combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera No Metálica Siempre Viva S.A – Unidad de Producción Rumichaca,” nace como consecuencia del problema de materiales de caliza y carbón tipo antracita por la generación de inquemados, resultantes al final del proceso de quemado en el horno; pero junto a ello existió el inconveniente de que también se obtenía residuos de trozos de óxido de calcio contaminado con carbón y además carbón con combustión incompleta; por otro lado experiencias técnicas refieren que para un proceso de quemado de la caliza el diámetro estándar del material es de 2” a un máximo de 4”, el problema fue la determinación del tamaño del carbón, lo que ameritó realizar la investigación, por generar pérdidas económicas y la acumulación de escombros continuos en la cancha de desmonte que son negativos en el aspecto ambiental.

El objetivo del presente estudio, fue : Estudiar el rendimiento de tres tamaños de antracita para la optimización de combustión de la piedra caliza en la Empresa minera no metálica Siempre Viva S.A U/P Rumichaca - Lircay; con tal propósito la investigación se desarrolló en 04 capítulos, que se describe en el siguiente orden: En el Capítulo I el planteamiento del problema donde se ubica el problema de la investigación en referencia a conocimientos y experiencias internacionales y nacionales que de alguna manera se relacionan con los temas y propósitos de la investigación, en el referido capítulo se describe los objetivos y justificación; en el Capítulo II desarrollamos el marco teórico o conceptual de la teoría que fundamenta la investigación, además mencionamos los antecedentes, las bases teóricas que estudia las variables, en seguida se desarrolla el Capítulo III, donde se describe la metodología como soporte conceptual que rige la manera en que aplicamos los procedimientos de la investigación, se considera el tipo de investigación, nivel, método, el diseño, la población, muestra, técnicas

e instrumentos y finalmente en el Capítulo IV, consideramos los resultados y discusión; culminando el estudio con las conclusiones, sugerencias, bibliografía y anexos.

El trabajo es de importancia para el propio autor, puesto que servirá para poner en práctica los conocimientos adquiridos en la universidad, en relación a algunos de los procesos que desarrolla las empresas de minerales industriales en especial la pequeña y minería artesanal en el caso particular que laboran dirigidos a la producción de cal.

Contribuirá la investigación a la temática específica, al campo de la minería, al empresario y a todos quienes estamos involucrados a la investigación.

CAPITULO I

PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sabemos que la cal como producto no metálico es de necesidad en las diferentes industrias y en particular en la vida de la humanidad, sin embargo, en el proceso de quemado concurren factores técnicos que por desconocimiento causan pérdidas, en razón a este problema, a nivel mundial las empresas productoras de cal utilizan para el quemado de la caliza en el horno combustibles tales como: Petróleo, aceite quemado, petcoke (coque de petróleo), gas, y la antracita, de acuerdo a sus recursos disponibles, sin embargo los productos referidos deben tener características apropiados para evitar pérdidas económicas en la producción de óxido de calcio. Es así, Carpí Vilar, Sebastián (1965-España), al hacer el estudio en hornos verticales para la producción de cemento, donde uno de los materiales que compone para ese fin fue la caliza, en esa experiencia utilizaron el crudo negro(carbón molido o pulverizado), manifiesta también que al horno vertical convencional le convienen carbones de gran poder calorífico, pocos volátiles y pocas cenizas, los volátiles destilan en la atmósfera reductora que antecede a la clinkerización y se pierden sin quemar, por lo que su contenido debe ser inferior al 8 %; los tipos de carbón más apropiados son las antracitas, los coks o la mezcla de ambos.

La proporción de cenizas debe ser la más baja posible, porque como los carbones que se utilizan son «menudos» tal como vienen de la mina, sin moler, resulta difícil, por no decir imposible, calcular con antelación un coeficiente de saturación determinado, debido a la irregular distribución de las cenizas y a que éstas no se combinan totalmente. La granulometría del carbón juega un papel importante en el proceso de clinkerización, cuantas más pequeñas son las partículas de combustibles, existe más probabilidad de combinarse y se aminoran los perjuicios, también menciona, a pesar de que ha llegado a decirse que con granulometrías inferiores a 2

mm la marcha del horno no era regular, con la propia experiencia se han encontrado buenos resultados con «menudos» de antracita con el 55 por 100 de tamaños inferiores a 1mm y sólo el 25 por 100 mayor de 2 mm el clinker resulta más poroso y de enfriamiento más rápido.

También, Fernández Neira, Alexander (2013- Madrid- España), refiere en la tesis denominada: “Caracterización y determinación del proceso para la producción de cal comercial a partir de la piedra caliza”, que, en la utilización de combustibles petcoke (**El coque verde retardado** “Green delayed petroleum coke”) y gas, el aprovechamiento energético del combustible es un aspecto fundamental para los hornos, debido a que es uno de los factores más críticos en el precio final del producto. De igual manera, **González Gavilánez, Lucía Isabela (2012)** Riobamba – Ecuador, al desarrollar la investigación “Optimización del proceso de combustión para el tratamiento de la caliza en la obtención de cal y derivados de la Corporación los Nevados”, optimizó la combustión mediante medidas correctivas de operación, al hacer ensayos de laboratorio de física y química, pruebas de las características del aceite quemado y caliza, dando como resultado que, con buena combustión disminuye los gases contaminantes en la atmósfera.

Por otro lado, la escasa información de experiencias en el Perú, refiere que, en la producción de cal en Cemento Pacasmayo S.A.A, tienen hornos diseñados para todo tipo de combustibles como residuos sólidos, biomasa, llantas y cuentan con equipos europeos, que cumplen los estándares ambientales, también utilizan carbón antracita.

Ahora, en la realidad de la cantera donde se realiza la investigación, Empresa Minera No Metálica Siempre Viva S.A. – Unidad Rumichaca, desde inicio del 2006 se extrae y se procesa la piedra caliza para la obtención de óxido de calcio o cal viva, en dicha actividad siempre se usó como combustible la variedad de carbón denominada “antracita”, resultando al final del proceso de cocción, el óxido de calcio; pero junto a ello existe el inconveniente de que también se obtiene residuos de trozos de óxido de calcio contaminado con carbón y además carbón con combustión incompleta; por otro lado experiencias técnicas refieren que para un

proceso de quemado de la caliza el diámetro estándar del material es de 2" a un máximo de 4", el problema estaría en la determinación del tamaño del carbón, lo que amerita realizar la investigación, por generar pérdidas económicas y la acumulación de escombros continuos en la cancha de desmonte que son negativos en el aspecto ambiental.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo Estudiar el rendimiento de tres tamaños de antracita para la optimización de combustión de la piedra caliza en la Empresa minera no metálica Siempre Viva S.A. -U/P Rumichaca - Lircay?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS:

- a) ¿Cuál es el análisis económico de los residuos de desmonte del proceso de combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay?
- b) ¿Cuál es el tamaño óptimo de antracita en la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay?

1.3. OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar el rendimiento de tres tamaños de antracita para la optimización de combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay.

1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICOS

- a) Analizar económicamente los residuos de desmonte al final del proceso de combustión con el tamaño definido de antracita en la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay.
- b) Determinar el tamaño óptimo de antracita en la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay.

1.4. JUSTIFICACIÓN

La producción de cal de la empresa se comercializa directamente con la Empresa Buenaventura S.A.A. y a otras empresas a precios, obteniéndose un margen de ganancia muy bajo descontando el costo de producción para obtener la cal.

Por ello es importante mencionar, que en la actualidad el proceso de combustión de piedra caliza para la obtención de cal de la Empresa minera No Metálica Siempre Viva S.A. Calera Rumichaca, se ha realizado mediante el empleo de dos tipos de combustible, el primero es de origen natural, leña, y el segundo carbón de piedra (antracita). En los últimos años se ha ido incrementado y fortaleciendo la producción de cal viva mediante el empleo de carbón de piedra antracita debido a que la piedra caliza es muy resistente a la cocción en la calera Rumichaca.

Por ello que el carbón de piedra antracita, es un combustible que realiza un importante papel en la combustión para el proceso de calcinación de la piedra caliza y que su empleo ha sido cuestionado por los contaminantes que genera durante la quema del combustible. Esto resulta una preocupación primordial para los productores de cal, ya que su objetivo es de producir una cal de calidad con un adecuado proceso productivo y cuidado sostenible del ambiental.

En la actualidad en Europa se están desarrollando una serie de tecnologías que convierten el carbón en un combustible más limpio que sus competidores el gas y el Petróleo.

El estudio de rendimiento de tres tamaños de antracita, para la optimización de combustión de la piedra caliza, servirá como base para investigaciones futuras similares.

Las pérdidas económicas serán controlados con el presente estudio al reducirse las cantidades de residuos de desmonte, así como la reducción de la exposición del personal a temperaturas altas en la etapa de descarga. La estandarización del tamaño de antracita, permitirá implementar una chancadora.

Así mismo en la combustión de la antracita hay emisiones del CO y CO₂, que son contaminantes de la capa de ozono, al controlar la granulometría de la antracita y utilizando solo lo necesario se minimizará las emisiones de estos gases.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1 A NIVEL NACIONAL

- a) **MINERÍA CAL & CEMENTO SUR S.A. (2012)**, Proyecto Katawi Rumi Cal del Altiplano Peruano (Juliaca -Puno), refiere, que el costo de producción en energéticos es el 50 %, con el uso de combustible pet-coke (coque de petróleo) es mayor que a los demás costos., en proceso de producción de cal en un Horno vertical.

- b) **COMPAÑÍA MINERA LURÍN S.A. (2015)**, en su publicación del proceso de calcinación de la caliza se realiza en hornos verticales, que trabajan a temperaturas por encima de los 1,000 °C. El combustible utilizado es el gas natural., En seguridad ocupacional se emplea los (PETS) , prácticas de (normas técnicas peruanas) como internacionales (normas ASTM). Así mismo, debido a que la cal viva o hidratada es un insumo químico fiscalizado, con todas las normas y procedimientos establecidos por la SUNAT para la producción, comercialización y transporte de cal.

- c) **MS. SEIJAS BERNABÉ , PRISCILLA ALEXANDRA (2012 -Trujillo- Perú)** en su Tesis “Biosecuestro de dióxido de carbono, procedente de gases de combustión, por *arthrospirajenneri* “espirulina” y su influencia en la producción de biomasa microalgal en foto biorreactor solar”, en ensayo de la optimización del proceso de combustión, Se colocó 5 Kg de carbón antracita en la cámara de combustión de la caldera

La eficiencia de la combustión se determinó mediante la relación siguiente:
 $E = 100 - P1$, donde P1 es igual a pérdida de calor por inquemados, %, la pérdida de calor por inquemados se obtuvo determinando la pérdida de calor por inquemados sólidos y gaseosos

La combustión completa es óptima, se dice cuando la energía del combustible a sido liberado en forma de calor, los inquemados es producto de la combustión incompleta no se aprovechó el calor del combustible en su totalidad.

Los inquemados sólidos están formados principalmente por partículas de carbono no quemado, conocido como hollín o carbonilla.

- d) **CONSULTORES INGENIEROS: SUMA QUISPE, CELSO; GUTIÉRREZ SAMANEZ, JULIO Y SUMA QUISPE ,RODOLFO (2008- CUSCO-PERÚ)** en su publicación del “Estudio de definición de tipo de horno apropiado para el sector Ladrillero”. Se refiere a los problemas encontrados en los hornos del Perú., la Combustión incompleta de los combustibles empleados, la buena combustión se realiza por equilibrio entre la cantidad de combustible y oxígeno, de aire suficiente para la reacción Química, las deficiencias de combustión genera la emisión de gases tóxicos, el monóxido de carbono, anhídrido carbónico y gases sulfurosos, junto con el humo negro o carbón, que aporta al calentamiento global, y destrucción del ecosistema., a causa de esta deficiencia se requiere gastar más combustibles, las eficiencias térmicas es baja, con altos costos de los quemas, encarecimiento de los procesos de producción.

2.1.2 A NIVEL INTERNACIONAL

- a) **S. JIMÉNEZ, (2012- España)** investigación de combustión de carbón-www.energia2012. La reactividad es el ritmo al que se consumen en distintas condiciones de oxígeno y temperatura, la caracterización se lleva

a cabo mediante ensayos con partículas dentro de un rango estrecho de tamaños en un reactor de flujo laminar; el ajuste de las curvas de inquemados vs. Tiempo a modelos relativamente simples permite proporcionar a los diseñadores u operadores de caldera los parámetros cinéticos que sus códigos de simulación necesitan como datos de entrada.

Unas curvas similares a las obtenidas para reacción con O₂. Ilustra la evolución típica de las partículas de carbón antracita con el grado de quemado, desde el original hasta la ceniza final, la evolución de partículas de carbón pulverizado con el grado de combustión: original (1), Oxidación ligera (2) y cenizas (3). Imágenes de un microscopio electrónico de barrido (SEM).

- b) **COLOMA ÁLVAREZ ,GUILLERMO (2008-CHILE)**, en su libro La Cal es un reactivo químico, nos explica de los factores que afectan la calidad de la cal son: Composición química de caliza, Temperatura del horno durante el período de calcinación, Tiempo de residencia de la cal en el interior del horno y Concentración del anhídrido carbónico en la atmósfera del horno. (CO₂ residual)

En la operación industrial, el control de temperatura no se puede realizar directamente en la partícula, como tampoco es factible contar con un tamaño mono granular y una forma geométrica única de ésta, por lo que el tiempo de calcinación y el control en forma indirecta de la temperatura: son las variables que permiten de algún modo tener un control sobre una calcinación adecuada, para que el efecto sobre el área superficial sea menor.

- c) **SUAREZ RIVERA ,PABLO JAVIER (1999- Guayaquil- Ecuador)**, tesis “Diseño de una planta de cal en sector Casas- Vieja “, recomienda debido al alto costo operacional inicial, se trata de minimizar el consumo de energía y combustible en la planta de cal a través de la optimización del uso.

- d) **GARCÍA SAN JOSÉ , RICARDO (2001-ESPAÑA)** en su publicación del tema Combustión y combustibles, el rendimiento de la combustión, el calor que puede obtenerse en una combustión es el correspondiente al poder calorífico del combustible, hay dos tipos de pérdidas por Inquemados (Q_i) y Entalpía de los productos de la combustión (Q_{hs})
- e) **REAL HOJAS ,JUAN AUGUSTO (2006 GUAYAQUIL – ECUADOR)** , en su tesis “Diseño de un sistema para el proceso de molienda de carbón mineral para ser usado como combustible industrial”, el carbón mineral es usado en procesos en los que se requiere una gran demanda de energía, por lo que su principal consumo se da en: la generación eléctrica, la industria del cemento y la industria metalúrgica, debido a su bajo costo y a la cantidad de energía que se le puede extraer. Pero la combustión de este en su forma natural, es decir, las condiciones en las que es extraído es bastante ineficiente (alrededor del 5 % de eficiencia), debido a dos factores importantes: La humedad presente y el tamaño de mineral. La pulverización del carbón, permite una combustión más eficiente, ya que dentro del proceso se consiguen dos efectos importantes sobre el carbón: La deshidratación puesto que la reducción en el contenido de humedad tiene un efecto positivo en la tasa de transferencia de calor; y el aumento de la superficie específica, es decir, la superficie del carbón expuesta a la combustión por unidad de volumen. El tamaño máximo de carbón suministrado a los pulverizadores suele ser entre 19 y 75 mm. Hasta un tamaño máximo de unos 75 mm, no se afecta la capacidad de algunos tipos de pulverizador mientras que otros si muestran su sensibilidad en todo momento. Los finos, carbón de un tamaño de 3,35 mm o menos, cuando están mojados, son la causa principal de obstrucciones, en particular cuando su contenido excede de 25 % a 30 % por masa del total de carbón. La distribución del tamaño de partículas o granulometría varía mucho según el tipo de carbón, método de extracción, limpieza del carbón, equipo para trituración y el grado de manejo y manipulación.

En el proceso de molienda del carbón mineral, material es pulverizado hasta que una cantidad mayor o igual al 80 % del material alimentado al molino tenga un tamaño menor a 75 μm , es decir, que el 80 % de este, pase por una malla número 200, según la norma D-408 ASTM; luego este polvo es llevado fuera del molino a través de un sistema de transporte neumático, en una mezcla aire-polvo de carbón; durante el proceso de molienda y transporte, el carbón es deshidratado, para optimizar sus propiedades combustibles. El sistema de transporte, conduce la mezcla hasta un sistema de colección de polvo, que se encarga de separar el material particulado del aire, este último es conducido hacia una chimenea para su liberación a la atmósfera; y el polvo colectado es transportado hacia la tolva de alimentación para su posterior uso en los quemadores.

- f) **P. C. OKONKWO AND S. S. ,ADEFILA (2013 - AFRICA)**, “Investigation of some factors that affect Jakura limestone burning”. El objetivo de su investigación es la evaluación de la influencia de factores en el proceso de la quema de piedra caliza de Jakura, en un horno de cal del eje vertical, que es la idea central de su trabajo. Parámetros cinéticos básicos tales como: difusividad, coeficiente de transferencia de masa, conductividad, coeficiente de transferencia de calor, parámetro de convección, y el parámetro de difusión de la capa de cal de la partícula de piedra caliza de calcinación que se obtuvieron de las pruebas de calcinación. Este trabajo ha establecido los efectos de diversos factores del proceso que prevalecen durante la quema de la piedra caliza de Jakura en un horno de cal de eje vertical. Los factores considerados influyen la calidad de la piedra caliza, el tamaño de la piedra y la gradación, cinética de la reacción, la temperatura de calcinación y tiempo de calcinación. La tendencia de los resultados de acuerdo con Kilic y Aril (2006). Temperatura de calcinación de 1060 °C exhibe una condición óptima porque implica un mayor rendimiento de los equipos de calcinación y menos consumo de energía. Estas tendencias son muy útiles en el desarrollo de un modelo de horno dinámico para la quema

de una piedra caliza seleccionada. El software desarrollado es flexible y puede adaptarse a otras fuentes de piedra caliza en función de sus características y, como tal, puede ser adoptado en el desarrollo de los hornos para tales recursos de piedra caliza. El presente trabajo es muy fundamental para el mantenimiento de una industria de producción de cal viable en los países en desarrollo como Nigeria.

- g) **CUADRAT FERNÁNDEZ, ANA (2012 - ESPAÑA)**, “Combustión de carbón con captura de CO₂ usando ilmenita como transportador de oxígeno”. El objetivo fundamental de este trabajo fue investigar la viabilidad y eficacia de la tecnología “Chemical -Looping Combustión” con combustibles sólidos y evaluar las condiciones y parámetros clave que mejoran la eficacia del proceso, para conseguir una tecnología de combustión con captura de CO₂ técnica y económicamente competitiva. Su experimentación se realizó en una termo balanza gravimétrica, un reactor de lecho fluidizado discontinuo para combustibles gaseosos y otro para combustibles sólidos y dos unidades en continuo de CLC para combustibles sólidos. Se observaron cambios estructurales en las partículas de ilmenita tras la activación. Concluye que hay un aumento en la porosidad de las partículas. Inicialmente las partículas calcinadas tenían una porosidad de 1,2 %, que aumentaba hasta 38 % tras 100 ciclos en lecho fluidizado con una conversión del 65 %. Se observó la aparición de grietas y una corteza externa en la partícula enriquecida en Fe. Estos cambios pueden explicar el aumento en la reactividad de la ilmenita con los ciclos redox. El análisis de los resultados obtenidos en los experimentos efectuados desde pequeña escala a escala de planta piloto, así como la simulación con un amplio intervalo de condiciones concluyó que un sistema optimizado CLC para combustibles sólidos con ilmenita como transportador de oxígeno debería tener un sistema de separación de carbón con eficacias mayores del 90 %, trabajar a temperaturas del reactor de reducción altas, preferiblemente mayores de 950 °C, y se

necesitarían 1000-2000 kg/MWt de inventario de transportador de oxígeno. La eficacia de contacto de la materia volátil con el transportador debería aumentarse, siendo posibles varias soluciones de diseño, como sería la opción de usar un segundo reactor de reducción para conseguir combustión completa. Con estas medidas, se puede conseguir combustión completa y capturas de CO₂ mayores del 90 % con un amplio rango de combustibles.

- h) **GONZÁLEZ GAVILÁNEZ, LUCÍA ISABELA. (2012 – RIOBAMBA-ECUADOR)**, tesis de “optimización del proceso de combustión para el tratamiento de la caliza en la obtención de cal y derivados de la corporación los nevados”. El objetivo de sus investigación fue de Optimizar el proceso de combustión para el tratamiento de la piedra caliza en la obtención de cal y sus derivados, mediante el manejo de fuentes de información primaria y secundaria, así como también, cálculos de ingeniería, con el propósito de mejorar la eficiencia del proceso, calidad del producto, y control de los gases de combustión. Las características visuales de la cal viva obtenida, evidencian pérdidas de calcinación, correspondiente al 13,20 %, y que el sistema de combustión para la calcinación no es eficiente en razón de que se evidencia material crudo o presencia de CaCO₃ por re-carbonatación, afectando la reactividad de la cal viva obtenida, finalmente concluye que para mejorar la calidad del producto, se deben tomar en cuenta tres aspectos fundamentales el tipo de piedra caliza (% CaCO₃ >95), el tamaño del mineral alimentado al horno, (10-15 cm), y la temperatura en la zona de calcinación (máx. 1250 °C). La eficiencia del actual proceso de combustión correspondiente al 34,67 % y las fugas de calor es 58,12 %, por lo que mediante, la implementación de las alternativas de solución del tipo operacional y adecuaciones en el horno, se disminuyó el consumo de combustible y el exceso de aire.

i) **JUAN CHEN Y HONG YAO (2010 - CHINA)**, "Mechanisms for calcination and sulfation of limestone during oxy - fuel combustion". Este trabajo tiene como objetivo aclarar los mecanismos que rigen la calcinación y la sulfatación de la piedra caliza durante oxi - fuel de combustión. Aparte de la piedra caliza pura, las mezclas de piedra caliza con un carbón marrón - rank en tres diferentes relaciones de masa se queman en una caída a escala de laboratorio - horno de tubo (DTF) para examinar sistemáticamente la influencia de una serie de parámetros individuales, incluyendo la composición del gas (es decir, 27 % O₂ / 73 % de CO₂ frente a aire), temperatura de la llama, la relación de masa de ceniza a la piedra caliza y la concentración de SO₂ en el horno. Concluye que como el contenido de cenizas y azufre en el carbón son extremadamente inferior al CaCO₃ en porcentaje, la única explicación de estos fenómenos es la formación de carbón volátil de llama durante la combustión de carbón, que aumentó sustancialmente la temperatura de las partículas de piedra caliza a un nivel inhibitor de CO₂ con efecto de presión parcial. También demostraron que la relación de masas de la piedra caliza a la ceniza en el carbón y la concentración de SO₂ en los gases de combustión juegan un papel notable en la medida de la calcinación de la piedra caliza.

j) **KANDORA MONTRONE KURT ARTHUR (2008 - Chile)**, "Factibilidad técnico económica de producción de cal hidráulica alta resistencia y alta retentividad". Su investigación se basa desarrollar un proceso productivo destinado a producir Cal Hidráulica de alta resistencia y alta retentividad, sus resultados indican una resistencia a la compresión de cal hidráulica Soprocál producida en el país es de 5 kg/cm² a los 7 días y de 10 kg/cm² a los 28 días y la a retentividad de la cal hidráulica de CPCAL fue de 61 % en tanto la de la otra fue de 60 %. Los experimentos realizados a nivel industrial hasta la fecha, son concluyentes con los antecedentes que se dispone en el sentido que el proyecto es factible técnica y económicamente. Sin embargo se debe mejorar el dominio real del manejo del horno, y por

otra, que las dosificaciones y operaciones específicas para obtener el material propuesto deben ser optimizadas en relación al nuevo producto calcinado.

- k) **CALDERÓN AGUILAR, CLAUDIA LEONELA (2005- GUATEMALA)**, tesis del “Estudio de pre-factibilidad económica para la utilización de carbón mineral en la fabricación de Cal viva.” Su estudio se basa en realizar un estudio de pre factibilidad económica para la utilización de carbón mineral como combustible en el proceso de fabricación de cal viva en un horno horizontal de tipo rotativo. Concluye que el mejor sistema de combustión para la fabricación de cal viva, en un horno horizontal tipo rotativo es un quemador combinado que utilice carbón y aceite en una proporción de 90/10, ya que, se ahorra un 40 % en los costos de producción, con un tiempo de recuperación de capital de dos años y que del estudio de pre factibilidad económica entre tres tipos de quemadores con diferentes mezclas de combustible, carbón y aceite, se encontró que el mejor, es un quemador combinado que utilice carbón y aceite; este último con un máximo del 10% para su funcionamiento.

El sistema de combustión en el horno, La temperatura de la llama depende de la composición química del combustible y de la cantidad de exceso de aire que participa en la combustión, es uno de los principales factores que debe controlarse en la combustión.

Dentro de un horno, el control del perfil de la llama depende de los siguientes factores dominantes: La temperatura del aire de combustión: este depende de una efectiva recuperación del calor del material quemado, Cantidad óptima de exceso de aire (no necesariamente el mínimo teórico), La velocidad de mezclado del combustible y el aire de combustión, y El tipo y la cantidad de combustible utilizado.

2.2 GEOLOGIA DEL PROYECTO.

2.2.1. GEOLOGIA REGIONAL.-

La geología regional de la zona del proyecto, está compuesto por: la formación Excélsior del devoniano de la era paleozoica, que subyace la formación de grupo, Tarma y Mitú del sistema carbonífero, permia no y triásico inferior respectivamente; estos aflora a 10 km. Al este y al oeste a 6 km. Sobre yacen respectivamente a estos unidades lito estratigráfica la formación del grupo pucará del sistema triásico superior y jurásico inferior, desde la zona del cerro Huachulla, que está a 6 km. horizontales de la ciudad de Lircay, hasta la altura de colpa , en la margen izquierdo del río Lircay; a su vez, estas sirven de base a los formaciones Chuñumayo, grupo guyllarisquizga, formación chulec y la formación Casapalca del cretáceo.

2.2.2. GEOLOGIA LOCAL

Su geología local corresponde a la formación Rumichaca del sistema paleógeno al neógeno del cenozoico, es una unidad volcánica, sedimentaria que aflora de norte a sur, consta de tres unidades litológicas bien definidas:

En la base, una capa de 200 m., de espesor constituida por tobas, flujo piro plásticos y sedimentarios lacustres.

En la zona intermedia, una capa de 50 m. de espesor, constituida por precipitación de los travertinos 10 a 12 m. Con presencia de materiales orgánicos, estos sobres yacen al conglomerado de 0,5 a 1,5 m de espesor.

Como miembros superiores se tiene una capa de 80 a 1000 m, de espesor; constituidas por conglomerado de clastos sub redondeados y sub angulosos. Polenéticos dentro de un matriz arcillosa, intercalado con horizontales de arcilla areníscosa.

Todas estas formaciones que Sobre yacen al grupo pucara en forma discordante y subyace a los volcánicos al grupo Huachocolpa del grupo mioceno, estos a su vez, material del sistema cuaternario.

La estructura geológica existente en la zona está relacionada a los dos ciclos evolutivos de la tectónica hercínica y andina. El caso de la formación Rumichaca que es una secuencia volcánica secundaria es de la fase quechua, su edad oscila entre 14-19 millones de años.

2.2.3. GEOMORFOLOGÍA

El área de Quichque Cucho ,ocupa la zona del valle profundamente y encañonado y recorrido de NW-SE por el río Opamayo; probablemente se trata de una línea de falla en distensión a lo largo de la que van pero Produciéndose deslizamientos periódicos en años anteriores, en la actualidad no afectan a ningún pueblo cercano, tanto al este como al oeste del río Opamayo se presentan algunas zonas de bajas mesetas que se ubican entre 3250 y 3345 m.s.n.m. en el curso del cuaternario, la erosión fluvial y glacial ha diséctado la zona socavando las rocas más blandas, como son las horizontales cineríticas del terciario que solo se mantiene como remanentes en los bloques caídos a lo largo del río.

2.2.4. DESCRIPCION DEL YACIMIENTO

La grava calcárea, está en la base del cerro Rumichaca entre este y el río de Opamayo. Con respecto a su origen y forma, tiene la forma de mantos alterados que cubren un área de 10 Has. Aproximadamente, con un espesor que varía entre 2,5 m. En la base de la carretera, llegando al fondo de la zona desde 14 m. Hasta los 46 m. Abarcando las partes bajas de las laderas, formadas por el intemperismo de las calizas pucara. La parte superficial contiene reolita, con espesores que varían entre 0,10 hasta 0,50cm. Mientras que la grava.

2.2.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las características estructurales, es que presenta una falla transversal que pasa por el yacimiento, y algunas alteraciones que se nota sobre la roca.

2.2.6. GEOLOGÍA ECONÓMICA

El valor explotable de la calidad de roca, es la caliza que sirve para transformar en la cal Viva, cuyas reservas calculadas es para una extracción de 19 años.

2.2.7. CALCULO DE RESERVAS

El material cubre una área aproximada de 12,398.90 m², con un espesor promedio de 32,5 m. (esto fuera del suelo superficial o top soil) , estimándose una reserva de 180,063 m³ de materia prima requerida para la producción de cal en sus distintas variedades y la reserva maciza en la parte posterior del área del presente proyecto es de 477,6000 m³. Lo que no consideramos para este proyecto, por cuanto se requiere un nuevo estudio considerando maquinarias y equipos, lo que ocasionara un mayor impacto ambiental en la zona. Tienen dimensiones muy variables, desde unos pocos cm. Hasta bloques de 3 m. de diámetro.

2.2.8. EVALUACIÓN DE RESERVAS

Hay dos métodos o técnicas, para cubicar las reservas minerales tal como son clásicos y tal geo estadísticos, los métodos clásicos conocidos para la cubicación de reservas minerales, son:

1. Método de los perfiles en morfología tabular y pendientes desfavorables
2. Método de la triangulación, uso para reservas tabulares, con indicación del plano horizontal y vertical.

2.2.9. CARBÓN EN PERÚ

Según E. Mauro Giraldo P.*, Wilfredo Blas G. (2008) en su publicación dela Minería actual del carbón en el norte del Perú.

En la Libertad, Ancash y Amazonas la minería del carbón en el norte de nuestro país se extrae de manera informal, propiciada por los acopiadores de carbón, sin importarles las formas, los métodos.

2.2.10. ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LAS MINAS DE CARBÓN

Las minas en el departamento de la Libertad, corresponden a la cuenca del Alto Chicama, donde el yacimiento de carbón ocurre en una extensión de 750 km² (INGEMMET, 1983), el carbón se presenta a saber en 10 mantos, de los cuales 6 son económicamente explotables, y con diversos rumbos y buzamientos (de 50° a 80°), debido al tectonismo de los Andes, viéndose afectados por diversas fallas y deformaciones. Las rocas encajonantes por lo general son orto cuarcitas. Las reservas de carbón en esta cuenca superan los 250 000 000 TM, con poder calorífico que varía entre 7000 y 7500 Kcal/Kg., el mismo que muestra las características de los carbones por tipos en el territorio nacional y las reservas estimadas en cada zona ("Inventario preliminar del carbón en el Perú", INGEMMET, 1983). En la cuenca del Santa, mina Tarica, que comprende las provincias de Pallasca, Corongo y Huaylas del departamento de Ancash. En esta cuenca el afloramiento del carbón se extiende por 300 km². Los mantos tienen potencias que van de 0,60 m a 3,00 m con buzamiento de 20° a 75°, existen una secuencia de 6 mantos con valor económico. El poder calorífico del carbón de esta cuenca está por el orden de 6000 a 7500 Kcal/Kg.

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. LA CALIZA

La caliza es una sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO₃), generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican el color y el grado de coherencia de la roca. Es la materia prima con la cual se prepara la cal viva. Para obtener ésta, se calcina la Piedra Caliza, con lo cual el CaCO₃ que contiene, se transforma en CaO, desprendiendo CO₂.



2.3.2. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE CaCO_3

Las rocas sedimentarias son: la caliza, calcita, magnesita o dolomita mineral, desde donde se produce por distintos tipos de procesos. (Álvarez, 2008).

2.3.2.1 PROCESOS QUÍMICOS

En este proceso, el carbonato se obtiene por precipitación de una solución bajo condiciones adecuadas de concentración, presión y temperatura. (Álvarez, 2008)

2.3.2.2 PROCESOS BIOLÓGICOS

Se obtiene a través de organismos vegetales o animales que contienen algunas células que son capaces de absorber carbonato de una solución, concentrarlo y posteriormente depositarlo en forma de concha. Esto normalmente es carbonato de calcio. (Álvarez, 2008).

2.3.2.3 PROCESOS CLÁSTICOS

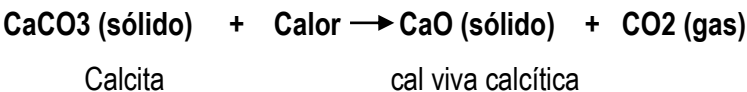
Este proceso de obtención, es por destrucción física de sedimentos calizos formados mediante procesos químicos o biológicos y que fueron re depositados en algún lugar, ya sea por congelamiento, deshielo, erosión u otro. Una vez producidos o depositados por los procesos indicados, han estado sujetos a cambios: primero sea acomodaron, luego se comprimieron y compactaron bajo presión y que al ser expuestos a altas temperaturas produjo cambios en la estructura de los depósitos, ocurrió re cristalización y resultó una gama de depósitos calizos. (Álvarez, 2008).

Producto con una solubilidad de:

$$6,8 \times 10^{-3} \text{ g/l a } 0^\circ \text{C y}$$

$$3 \times 10^{-3} \text{ g/l at } 100^\circ \text{C.}$$

- **Calcita.-** Es el carbonato de calcio, que al calcinarlo se descompone en óxido de calcio (CaO) y anhídrido carbónico, de acuerdo a la siguiente reacción química:



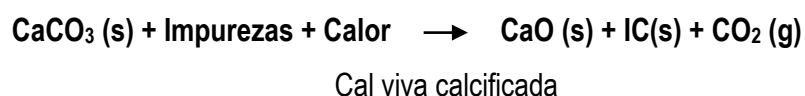
El contenido de MgO fluctúa entre 0,5 % a 2,5 %. Si éste carbonato contiene cantidades sustanciales de sílice, alúmina, hierro, se obtiene la cal viva hidráulica.

De acuerdo al grado de calcinación y a los fundentes que contenga la materia prima, se obtiene la cal viva calcítica de alta, mediana o baja reactividad, siendo ésta reactividad la medida del tiempo de residencia que necesita la cal en el proceso de hidratación.

En forma vulgar la des carbonatación significa que cuando el calor llega al mineral de carbonato de calcio, éste inicia su descomposición y comienza a generarse el óxido de calcio y en la superficie se desarrollan las reacciones que forman el requemado de éste último, produciéndose el óxido de calcio combinado.

Por lo tanto, el grado de calcinación va a depender de varios factores, entre otros, tamaño granulométrico de la materia prima o heterogeneidad física, cantidad de calor absorbido por cada partícula para lograr la disociación, las impurezas que se enlazan al calcio, tipo de horno utilizado, etc., entonces en la reacción química para lograr la disociación en un proceso industrial, debemos tener presente que en la explotación industrial de calizas, es imposible obtener partículas geométricamente homogéneas, mono tamaños o mono granulares; por lo general se producen partículas de diferentes tamaños, y con distinta forma. Por otro lado, la tecnología permite una calcinación

adecuada cuando la relación entre el tamaño mayor y el menor es 1:3. En el horno, el calor generalmente no es constante, por lo que la disociación del CaO y el CO₂ es diferente, para las partículas grandes y las pequeñas. Si a ello, le agregamos que las calizas vienen con impurezas asociadas, la reacción química industrial es la siguiente:



2.3.5. La cal

La cal viva es caliza calcinada, formada principalmente por óxido de calcio u óxido de calcio enlazado con óxido de magnesio y que es capaz de hidratarse con agua y formar productos derivados.

Se forma óxido de calcio cuando el carbonato de calcio se quema en el aire. En gran escala se produce calentando caliza en grandes hornos de cal llamados también caleras:

La reacción es reversible, como indica la ecuación anterior. Se alcanza el equilibrio cuando en contacto con la caliza y la cal existe una determinada concentración o presión parcial de CO₂. La presión de equilibrio se llama presión de descomposición del carbonato de calcio. Si a cualquier temperatura la presión parcial del CO₂ es inferior a la del equilibrio, se descompondrá la caliza para incrementar dicha presión al valor de equilibrio. En cambio, si la presión parcial es superior a la del equilibrio, la cal se combinará con el dióxido de carbono para formar el carbonato, y la presión descenderá al valor del equilibrio.

Tabla N° 2.2: Valores de equilibrio para la presión del dióxido de Carbono a diversas temperaturas

Temperatura (°C)	500	600	700	800	900	1000
Presión (mm. De Hg)	0.11	2.35	25.3	168	773	2710

Fuente: National Lime Association.

En la fabricación de la cal, la presión parcial del dióxido de carbono se mantiene inferior a la del equilibrio insuflando a través del horno una corriente de aire que arrastra el CO₂ y mantiene una atmósfera pobre en este gas. En torno a la base del horno se disponen hogares, para someter toda la carga de caliza al calor de los productos de combustión; pero sin ponerse en contacto con el combustible ardiendo. Se evita elevar mucho la temperatura en el horno para que la arena de la caliza no se combine con la cal, formando escoria. La cal producida a temperatura excesiva se llama cal muerta (cal quemada) y se apaga muy lentamente. La cal se usa para preparar cementos y morteros, en la fabricación de polvos de gas; en la industria del curtido, para depilar las pellejas; así para depurar aguas duras, y en agricultura para neutralizar suelos ácidos.

2.3.5.1. Características Físico – Químicas de la Cal

Los antecedentes físico-químicos que se presentan en las tablas siguientes, corresponden a datos teóricos de los distintos tipos de cal que existen.

Tabla N° 2.3: Características físico-químicas de tipos de cal viva

Descripción	Unidad	Tipos de Cal		
		Calcítica	Dolomítica	Magnesiiana
Nombre Químico		Óxido de Ca	Óxido doble Ca-Mg	Óxido de Mg
Fórmula Química		CaO	CaO•MgO	MgO
Peso Molecular	g/mol	56,08	96,40	40,32
Punto de Fusión	°C	2,57		2,80
Índice de refracción		1,838		1,736
Calor de solución	Kcal	+ 18,33		
Formación cristalina		Cúbica		Cúbica
Solubilidad a 0°C	g/l	1,40		0,0068
Solubilidad a 100°C	g/l	0,54		0,0030
Peso específico		3,2 - 3,4	3,2 - 3,4	3,65
Densidad en granza	g/l	881-961	881-961	
Calor específico a 100°C	BTU/lb	0,19	0,21	
Angulo de reposo			50-55°	50-55°
Calor de Hidratación	cal/mol	43,3		28,9
Calor de Formación ΔH a 25°C	Kcal/mol	-151,7		-235,58
Energía Libre ΔG 25°C	Kcal/mol	-144,3		
% CaO puro	%	100	58,17	
% MgO puro	%		41,83	100

Fuente: National Lime Association, Chemical Lime Facts

2.3.5.2. Cal Apagada

La cal reacciona con el agua, desprendiendo mucho calor. El producto de la reacción es el hidróxido cálcico, Ca (OH)_2 , y se llama cal apagada.



La cal viva obtenida de caliza pura, se conoce por cal grasa, y se apaga fácilmente. La procedente de caliza con arcilla o con carbonato de magnesio se llama cal magra, se apaga lentamente (a veces no del todo), y cuando se usa para mortero, éste, tarda en fraguar y tiene menor resistencia mecánica. Sin embargo, se trabaja más suavemente con la paleta, y por eso se usa en las operaciones de acabado.

La cal expuesta al aire absorbe lentamente dióxido de carbono y agua. Este material se llama cal aérea.

El hidróxido de calcio es poco soluble en agua, disminuyendo la solubilidad al aumentar la temperatura. La disolución se llama agua de cal. Una suspensión de hidróxido en agua se llama lechada de cal, que se usa a veces para blanquear. El hidróxido de calcio es la más barata de todas las bases.

2.3.5.3. Aplicaciones de la Cal

La cal se puede utilizarse en innumerables procesos, los que se pueden resumir en las siguientes:

Aplicaciones Industriales:

- **Química orgánica e inorgánica**, actúa como agente enlazante, colector o precipitante.
- **Tratamiento de aguas**, Actúa como agente, coagulante, purificante, regulador de pH. La cal viva se utiliza en forma de polvo en el tratamiento de aguas, para neutralizar, precipitar y descarbonatar. Sus ventajas sobre la cal hidratada son: menor precio y necesidad de almacenamiento para una misma cantidad de iones de calcio. La causticidad del producto obliga a

tomar precauciones especiales para su almacenamiento y conservación. Antes de emplear la cal viva, es preciso “apagarla”, por hidratación en un depósito de mezcla y obtener lechada de cal. La reacción es exotérmica. La densidad de la solución varía entre 800 y 1,200 kg/m³.

- **Papel y pulpa**, Su principal acción es como agente enlazante, basificante. En este proceso es necesario transformar el licor verde generado al tratar la madera con algunos reactivos químicos (carbonato de sodio, sulfuro de sodio) en licor blanco (hidróxido de sodio, sulfuro de sodio), completando el ciclo de recuperación de reactivos.
- **Alimentos y subproductos**, En la industria de alimentos la cal actúa como nutriente, coagulante y estabilizante, entre otros usos.
- **Producción de azúcar**, En el caso de la producción de azúcar se utilizan ambos componentes de la caliza, esto es, el CO₂ de la fabricación de la cal y el óxido de calcio obtenido. La cal también se utiliza como aglomerante para separar los compuestos insolubles (impurezas), generados al procesar la caña de azúcar y la remolacha para extraer el jugo dulce. También se utiliza para neutralizar la acidez generada por los ácidos orgánicos indeseados que con la cal forman compuestos insolubles, que son separados por filtración o centrifugación, facilitando así el proceso de fabricación.
- **Petrolíferos**, La cal en la industria del petróleo actúa como enlodante, sellante y regulador de pH. En este proceso los lodos de perforación son mezclas de arcillas, agua y productos químicos, entre ellos la cal, que se aplica en las operaciones de perforación para lubricar y enfriar el barreno y poder transportar los recortes de perforación hacia la superficie.

Con ello se previene el colapso de las paredes del orificio o pozo y se controla el flujo ascendente del petróleo crudo o gas.

Aplicaciones en Construcción

- Ladrillos silícicos: actúa como agente enlazante.
- Ladrillos ligeros: actúa como agente enlazante.
- Hormigón liviano: actúa como agente reaccionante.
- Morteros: actúa como plastificante, desplazante.
- Pavimentos asfálticos: actúa como impermeabilizante, anti disgregante, estabilizante.
- Revestimientos protectores: actúa como pinturas.

Aplicaciones en Agricultura

- Mejoramiento de terrenos: actúa como regulador de pH.
- Nutriente vegetal: actúa como acelerante.
- Abonos: actúa como desodorizante y como nutriente.
- Insecticida, fungicida: actúa como diluyente.

Aplicaciones en Minería Metálica

- **Fundición**, Actúa como fundente, agente enlazante. Absorbente de gases en humos y gases de chimeneas. Desmoldante de barras, catalizador en precipitación de níquel, lubricante en el estirado de alambres, entre otras.
- **En fundiciones de cobre**, La cal se usa como fundente (reemplaza ventajosamente a la caliza, dado a que ésta última necesita de un consumo energético para transformarse en cal y el calcio actúe como escorificante); como desmoldante en las canaletas de sangría y en las ollas de eje y escoria, como desmoldante en las máquinas moldeadoras de blíster, refinado a fuego y electrolítico.
- **En Cianuración de minerales auríferos y argentíferos**, La cal, además de tener un rol específico en cada uno de los procesos de cianuración ya sea en pila por agitación, evita la generación

de ácido cianhídrico en la hidrólisis de cianuro utilizado en varios procesos.

Aplicaciones en usos diversos:

- Pigmentos: actúa como agente enlazante, regulador de pH
- Barnices: actúa como neutralizante
- Caucho-gomas: actúa como desecante
- Control de contaminación: actúa como absorbente
- Cultivos marinos: actúa como descontaminante
- Granjas: actúa como germicida.

2.3.6. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE CAL

Los procesos para la obtención de cal que se presentan a continuación de forma simplificada.

2.3.6.1. Extracción

El proceso de producción de la cal comienza desde la exploración y selección del yacimiento de piedra caliza. Esta selección se realiza de forma tal que se asegure el abastecimiento de materias primas con las características físicas y químicas requeridas. Es entonces que se procede a la extracción de las canteras de caliza con pico y pala o con cargas de explosivos.

2.3.6.2. Trituración

En esta etapa es sometida a un proceso de trituración que arrojará como producto trozos de menor tamaño que serán calcinados en hornos a temperaturas superiores a 900°C.

2.3.6.3. Calcinación

La cal es producida por calcinaciones de la caliza y/o dolomía trituradas por exposición directa al fuego en los hornos (900 a 1200 °C). En esta etapa las rocas sometidas a calcinación pierden bióxido

de carbono y se produce el óxido de calcio (cal viva). Es importante que el tamaño de la roca sometida a calcinación sea homogéneo para que la calcinación se realice en forma efectiva y en su totalidad en todos los fragmentos.

2.3.6.4. Enfriamiento

Posteriormente se somete a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejada.

2.3.6.5. Cribado

Se somete a cribado separando a la cal viva en trozo y en guijarros de la porción que pasará por un proceso de trituración y pulverización.

2.3.6.6. Hidratación

Consiste en agregar agua a la cal viva para obtener la cal hidratada. Este proceso de hidratación conlleva una reacción química exotérmica en la que se liberan grandes cantidades de calor. Durante la hidratación o apagado de la cal, las rocas de cal viva absorben agua desintegrándose y obteniéndose un polvo fino de color blanco.

2.3.6.7. Molienda y Clasificación

La cal hidratada se somete a una molienda fina para obtener un material homogéneo. Se clasifica el producto y se lo envía al proceso de envase.

2.3.6.8. Envase y Despacho

El material obtenido ingresa a la empacadora donde es enfundado, pesado y despachado.

2.3.7. Horno para la Producción de Cal

Un horno de cal es una construcción en la cual la piedra caliza es calentada a una temperatura tal que libere el CO_2 , convirtiendo la piedra caliza en cal viva. El calor es proporcionado por combustibles adecuados que pueden ser colocados en capas entre la piedra caliza o mezclados con ésta. Los combustibles gaseosos o líquidos son inyectados por los lados del horno o quemados en cámaras adyacentes, desde las cuales los gases calientes ingresan al horno.

Es necesario un control cuidadoso para mantener la temperatura correcta, el tiempo suficiente, como para quemar completamente la piedra para la correcta manufactura posterior que es la cal hidratada.

La piedra caliza sub horneada no se hidratará, mientras que el material sobre horneado es muy duro y denso para apagarse, o se hidrata muy lentamente.

2.3.8. Factores que afectan la calidad del CaO

Los factores que afectan la calidad de la CaO son los siguientes:

2.3.8.1 Composición química de la caliza, CaCO_3 más impurezas

Para obtener una cal de calidad, la caliza utilizada debe tener una cantidad mínima de impurezas del tipo partículas de sí, debido a que esta reacciona con el CaO formando silicatos, los cuales se acumulan en el fondo de los hornos, obstruyendo el paso del material, además, de que la dureza de la cal obtenida, depende de las impurezas de la caliza utilizada como también de la temperatura de calcinación, una caliza impura, da una cal dura si se calcina a temperaturas elevadas.

2.3.8.2 Tamaño de piedra caliza

El tamaño de partícula de caliza debe ser pequeño, típicamente alrededor de 1,5". Sin embargo, debido a la naturaleza del funcionamiento del chancado, en realidad hay un rango en tamaño

que va desde 1,5" a 4". En las grandes industrias, la caliza para producir cal se encuentra en dos rangos de 6 mm a 15 mm y de 15 mm a 50 mm.

2.3.8.3 Temperatura del horno durante el período de calcinación

La temperatura teórica requerida para calcinación es de aproximadamente 900 °C, sin embargo, en la práctica encontramos que la temperatura es mucho mayor, alrededor de los 1350 °C. La temperatura del horno, dependerá del tamaño de la piedra caliza, tipo de horno y el tipo de combustible usado.

2.3.8.4 Tiempo de residencia de la cal dentro del horno

Durante el proceso de calcinación, el tiempo de residencia de la caliza, CaCO_3 más impurezas, en el horno es muy crítico. Es importante que el tiempo de residencia sea lo más corto posible. Sin embargo, se debe dar margen para que el calor penetre las partículas de caliza por suficiente tiempo y conduzca el CO_2 fuera de ellas. La temperatura y el tiempo son variables de control de la calcinación, es decir, hay calcinaciones con baja temperatura y alto tiempo de residencia, o, con alta temperatura y bajo tiempo de residencia, siendo opción de cada fabricante elegir lo que satisface su sistema.

2.3.8.5 Concentración del anhídrido carbónico en la atmósfera del horno

Además de la temperatura del horno y del tiempo de residencia, la atmósfera del horno afecta la calidad del producto obtenido, CaO disponible. Así como aumenta la temperatura en el CaCO_3 y el gas de CO_2 se suelta desde la caliza, para producir CaO disponible, se debe entregar al CO_2 la salida o escape necesario del horno hacia afuera. El CaO disponible tiene la afinidad de absorber humedad y

CO₂ para convertirse en CaCO₃. El efecto de esta conversión es más pronunciado en las partículas pequeñas de CaO debido a la mayor superficie específica de éstas.

2.3.9. Combustión

La combustión es una reacción química de oxidación en la que un elemento combustible se combina con otro comburente (generalmente oxígeno en forma de O₂ gaseoso), desprendiendo calor y produciendo un óxido; la combustión es una reacción exotérmica (cuando en el proceso se libera calor se dice que es exotérmico.) debido a que su descomposición en los elementos libera, calor al quemar y luz al arder.

Para que la reacción pueda llevarse a cabo debe alcanzarse la mezcla adecuada de combustible y aire, y se debe mantener la temperatura mínima de ignición.

En una reacción de oxidación tendremos:

Primer Miembro	Segundo Miembro
Combustible + Comburente	Gases de combustión + calor

2.3.9.1. Fases de la reacción de combustión

Se pueden distinguir tres fases en la reacción de combustión:

- Fase de pre reacción (formación de radicales).** Los compuestos hidrocarbonados se descomponen dando lugar a la formación de radicales, que son unos compuestos intermedios inestables y muy activos, para que de este modo el carbono y el hidrógeno puedan reaccionar con el oxígeno.
- Fase de Oxidación:** En esta fase se produce la combinación entre los elementos y el oxígeno. Es una fase muy exotérmica y es cuando tiene lugar la propagación de la llama.
- Fase de Terminación:** Aquí es cuando se forman los compuestos estables. El conjunto de estos compuestos es lo que llamamos gases de combustión.

Es necesario que se produzca una gran coordinación entre la 1ra y la 2da fase, ya que si no podría llegar a producirse una explosión, por acumulación de radicales.

2.3.9.2 Clases de reacciones de combustión

Las reacciones se pueden clasificar según el modo en el cual transcurran de la siguiente manera:

a) Combustión Neutra

Es aquella que se produce cuando el aire empleado aporta la cantidad justa de oxígeno para que todos los reactivos se transformen en productos. Para que la estequiometria se cumpla, hay que considerar todos los elementos que sufren la reacción de combustión en el combustible. Cuando la reacción tenga lugar totalmente, entonces no habrá H, O, S y C, Es aquella que se transformarán en productos correspondientes que irán en los gases de combustión. Como inertes aparecerá, por lo menos, el nitrógeno.

A veces, a los gases de combustión se les llama poder comburívoro o poder fumígeno. Se define éste como los gases húmedos totales procedentes de una combustión neutra o estequiometria (de todos los elementos combustibles e inertes también).

b) Combustión Incompleta

Es aquélla en la que por defecto en el suministro de aire no hay oxígeno necesario para que se produzca la oxidación total del carbono. Esto quiere decir que no todo el carbono se va a transformar en CO₂ y aparecerá también como producto de combustión el CO. Aparecen entonces los inquemados.

Los Inquemados. Se definen como la materia combustible que ha quedado sin quemar o parcialmente quemada. Pueden ser de dos clases:

- **Sólidos:** Carbono (hollín). Provocan un ennegrecimiento de los humos de combustión
- **Gaseosos:** CO, H₂. Cuando aparecen inquemados es señal de que no se ha aprovechado bien el combustible, por lo que la combustión que se está realizando es mala y se deberían tomar medidas de algún tipo para mejorarla.

c) Combustión Completa

Para que se produzca una combustión completa se hace necesario aportar un exceso de aire, es decir, de oxígeno. El exceso se realiza sobre la cantidad estequiométricamente necesaria para que todos los productos combustibles sufran la oxidación (tanto el C como el O ó el H). En este caso no se van a producir inquemados. En la práctica se hace difícil conseguir la combustión completa. Por ello es necesario aportar un exceso de aire. El exceso de aire se define como la cantidad de aire por encima del teórico que hay que aportar para que se realice la combustión completa del combustible.

En una combustión completa el total del combustible reacciona con el oxígeno y el producto resultante es sólo CO₂ (g) y H₂O (l). La ecuación puede balancearse, los productos de esta combustión son solamente CO₂, H₂O, O₂ y N₂.

2.3.9.3. Procesos de combustión teórico y real

a) Proceso de Combustión Teórico

El proceso de combustión ideal durante el cual un combustible se quema por completo con aire teórico se conoce como combustión estequiometría o teórica de ese combustible.

Donde el aire estequiométrico, se define como la cantidad mínima necesaria para la combustión completa de un combustible. De manera que cuando un combustible se quema por completo con aire teórico, no estará presente oxígeno no combinado en el producto de los gases. El aire teórico también se conoce como cantidad de aire químicamente correcta, o aire 100% teórico. Entonces un proceso de combustión con menos cantidad de aire teórico está condenado a ser incompleto.

b) Proceso de Combustión Real.

En los procesos de combustión reales es una práctica común emplear más aire que la cantidad estequiométrica, con el fin de aumentar las oportunidades de combustión completa o para controlar la temperatura de la cámara de combustión.

El aire en exceso de la cantidad estequiometría. Suele expresarse en términos del aire estequiométrico como aire de exceso porcentual o aire teórico porcentual. Así por ejemplo 50% de exceso de aire es equivalente a 150% de aire teórico.

La cantidad de aire utilizada en los procesos de combustión se expresa también en términos de la razón de equivalencia, la cual es la proporción entre la relación combustible-aire real o la relación combustible-aire estequiométrico.

c) Relación aire combustible

Suele expresarse en una base de masa y se define como la proporción entre la masa del aire y la masa del combustible en un proceso de combustión. Es decir;

$$AC = \frac{\text{MASA DE AIRE}}{\text{MASA DE COMBUSTIBLE}}$$

La masa **m** de una sustancia se relaciona con el número de moles **N** por medio de la relación **m=NM**, donde **M** es la masa molar.

La relación aire-combustible puede expresarse también en una base molar como la proporción entre el número de moles del aire y el número de moles del combustible.

2.3.10. Principales componentes del sistema de combustión en Calera Rumichaca

A continuación se definen los principales componentes del sistema de combustión en función a los utilizados por varias plantas de cal.

a) Horno

Es un dispositivo que genera calor y que se mantiene dentro de un compartimento cerrado.

b) Cámara de combustión

El horno es vertical con dos compartimientos de 2,10 m y 2,30 m de diámetro y 8 m altura. Cumple las siguientes funciones:

- Permite el ingreso de la mezcla aire-combustible
- Confinamiento de reactantes y productos
- Redistribución y almacenamiento de calor.

c) Ventilación

La ventilación es natural, debido al sistema abierto del horno.

d) Combustible

El material utilizado en la combustión es el carbón de piedra antracita.

- **Poder calorífico:**

Es la cantidad de calor desprendido por la combustión completa del combustible. O se podría decir que es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación. La cantidad de calor que genera la Antracita es de 7800 a 8600 cal /kg

- **Punto de Ignición**

Se define el punto de ignición de un combustible como la temperatura a la cual, una vez iniciada la llama, está ya no se extingue. Es esta temperatura de 20 a 60 °C más alta que la temperatura de inflamación.

e) Dióxido de carbono (CO₂) Las emisiones de óxidos de carbono proveniente de la des-carbonatación de la caliza, además del propio proceso de combustión de los combustibles fósiles. Este gas, aun no siendo nocivo, por su condición de gas de efecto invernadero, hace que cobre gran importancia su reducción y control.

f) Vapor de agua (H₂O)

Proveniente del propio proceso de combustión, y de la deshidratación de las materias primas alimentadas al horno.

g) Oxígeno

Que se emplea en exceso respecto al estequiométrico.

h) Compuestos orgánicos volátiles (COVs).

El contenido de estos compuestos en los gases emitidos se ve afectado, además de las condiciones de la combustión, por el contenido en materia orgánica de las materias primas, que se ven parcialmente oxidadas en contacto con los gases del horno, lo que afecta al nivel de compuestos orgánicos volátiles en los gases.

2.3.11. Combustibles

Los combustibles se pueden clasificar atendiendo a su estado de agregación en: combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Estos que fueron formados de plantas que vivieron en épocas muy remotas y en otros casos fueron transformados utilizando la tecnología del siglo XXI.

Dentro de los combustibles sólidos, solamente el carbón y su derivado el coque han alcanzado gran utilización para determinadas aplicaciones. Entre los combustibles líquidos sin duda el petróleo es el más importante, se compone de una mezcla compleja de hidrocarburos

pesados casi sólidos (breas). Los gases naturales salen de la tierra y están compuestos principalmente por hidrocarburos ligeros tales como: metano y etano, y los gases obtenidos por la industria petrolera y química llamados hidrocarburos pesados como el butano, propano, etc.. Los gases se obtienen por medio de la destilación seca (pirogenación) o gasificación de los carbones naturales.

Los elementos fundamentales de un combustible son: carbono (C), hidrógeno (H) y el azufre (S) considerado como un cuerpo indeseable.

2.3.11.1. Combustibles sólidos

2.3.11.1.1. Carbón mineral

El carbón se originó a partir de los restos en descomposición interrumpida de árboles, arbustos, helechos, musgos, lianas y otras formas de vida vegetal, que florecieron en lodazales y pantanos, hace muchos millones de años, durante periodos prolongados de clima húmedo y tropical y precipitaciones pluviales abundantes.

El carbón es una mezcla de carbono, hidrógeno, oxígeno, hidrocarburos volátiles, nitrógeno, azufre, agua y diferentes minerales que quedan como cenizas al quemarlo.

Si bien no hay una demarcación nítida entre las diversas etapas de esa evolución, generalmente se admiten las siguientes categorías: turba, lignitos, hullas y antracitas. También están los coques que se obtienen por des - gasificación de estos carbones naturales.

a) Clasificación de carbones

La comparación de los carbones se hace mejor basándose en su materia combustible, toda vez que su contenido de cenizas y humedad varía considerablemente; veamos la siguiente clasificación:

- **Antracita**

Es el carbón con mayor contenido de carbono y el máximo poder calorífico, es un carbón muy duro, posee un color negro lustroso (brillante) y menos del 8 % de materias volátiles. Arde sin llama o con llamas muy cortas y azuladas.

Tabla N° 2.4. Características del combustible: carbón antracita, de procedencia Santiago de Chuco, La Libertad.

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Carbón fijo	64.16
Material volátil	21.74
Cenizas	7.21
Humedad	6.29
Azufre	0.60
Poder calorífico superior	32 262 KJ/Kg
Poder calorífico inferior	27 200 KJ/Kg

Fuente: Laboratorio Alex – Stewart

- **Lignito**

Es considerado el carbón de peor calidad por sus poderes caloríficos y elevado contenido de humedad y cenizas. Tiene aspecto de madera y frecuentemente de arcilla. Están sujetos al riesgo de la combustión espontánea, solo son de interés para instalaciones que se encuentran en la boca de la mina.

- **Turba**

Es el precursor del carbón y se formó mediante la acción bacteriana y química sobre los desechos de plantas. Tiene un alto contenido de carbono fijo y un alto índice de

humedad y cenizas. Se utiliza desde hace siglos como combustible para fuegos abiertos. Recientemente con la ayuda de la tecnología se han fabricado briquetas de turba y lignito para quemarlas en hornos.

b) Tipos de análisis químicos para el carbón mineral

Los análisis químicos que usualmente se realizan son los siguientes:

- Análisis aproximado para la determinación de sustancias volátiles, humedad (total e higroscópica) y cenizas.
- Análisis último para la determinación de elementos tales como carbón, hidrógeno, azufre, nitrógeno y oxígeno.
- Análisis químico para la determinación de los elementos presentes en la ceniza de carbón.
- Análisis físico para la determinación del valor calórico bruto, seguido del cálculo del valor neto basándose en la humedad higroscópica y el agua de combustión.

c) Otros combustibles sólidos

- **Coque inferior o carbón pirolizado:**

Es el residuo no fusible ni aglomerado del tratamiento térmico de materiales carbonáceos sólidos a bajas temperaturas. Los valores de contenido de materia volátil y de azufre y los poderes caloríficos de los coques inferiores son más bajos y el contenido de cenizas más alto que en el carbón original.

- **Coque de petróleo – Petcoke**

También conocido como **coque de petróleo**, el petcoke se obtiene a partir de un proceso de refinado del petróleo y contiene una elevada proporción de carbono. Es una forma de carbón sólido producido mediante su descomposición térmica y la

polimerización de hidrocarburos líquidos pesados derivados de la refinación de crudo. Existen muchas variedades comerciales de coke de petróleo que difieren en sus características físicas y químicas, utilizándose en distintas aplicaciones industriales, dependiendo del método de producción industrial empleado en su obtención. Los métodos de producción más comunes utilizados en la actualidad son:

El coque verde retardado (Green delayed coking), un método de ruptura térmico (“cracking”) en la que las reacciones de carbonización implican su deshidrogenación, reestructuración y polimerización. La temperatura de trabajo fluctúa entre los 480 °C y 500 °C, y un ciclo completo de producción tarda un mínimo de 16 horas.

El coque fluido (fluid coking) es un proceso continuo de pulverización a altas temperaturas sobre una superficie fluida, en el que las partículas de coke se mantienen a una presión de entre 20-40 psi y 500 °C. Estos vapores de alimentación se someten a un “cracking” térmico mientras se depositan, formando una película líquida sobre partículas de coke recalentadas, para acabar convirtiéndose en agentes nucleantes

- **Carbón vegetal**

Es el residuo que queda después de la destilación destructiva de la madera. Absorbe humedad con facilidad y contiene de 10 a 15 % de agua.

- **Bagazo**

Es el residuo sólido que queda cuando se tritura la caña de azúcar mediante rodillos de presión. Suele contener de 40 a 50 % de agua.

2.3.11.2. Combustibles gaseosos

Gas Natural:

Es un gas combustible que se obtiene de rocas porosas del interior de la corteza terrestre y se encuentra mezclado con el petróleo crudo cerca de yacimientos del mismo. El gas natural se compone de hidrocarburos con muy bajo punto de ebullición, el metano es el principal constituyente sin embargo también pueden estar presentes aunque en muy bajas proporciones el etano, propano, pentano, hexano, heptano y octano.

El gas natural es un excelente combustible para los hornos cementeros; es limpio y requiere pocas instalaciones, e normalmente constante y fácil de controlar. Uno de los principales problemas que existe es cierto riesgo de explosión en el encendido y requiere precauciones especiales en el diseño de la planta.

Una ventaja es que el contenido de azufre es bajo, y es importante señalar que la temperatura de ignición es alta (600-700° C) razón por la cual hay que tener especial cuidado durante el calentamiento.

2.3.11.3. Combustibles líquidos

a) Nafta

Es un combustible altamente volátil, muy inflamable y es utilizado, sobre todo, como combustible para motores a explosión. Su poder calorífico es 11000 cal/Kg.

b) Kerosene

Constituye un derivado menos volátil e inflamable que la nafta. Su poder calorífico es de 10500 cal / Kg. Se utiliza en calefacción y en las turbohélices y reactores de las turbina de gas de los motores de aviación.

c) Gas-oil

Es denso, menos volátil que el petróleo. Su poder calorífico es igual a 10250 cal / Kg. Se lo utiliza mucho en calefacción y para hornos industriales y metalúrgicos.

d) Diesel - oil

Es un subproducto obtenido de los derivados más pesados del petróleo. Se quema más lentamente que el gas-oil. Se utiliza sólo en motores Diésel lentos en los cuales el combustible dispone más tiempo para quemar. Su poder calorífico es de 11000 cal / Kg.

e) Fuel-oil

Es un subproducto obtenido de los derivados más pesados del petróleo. Se quema con dificultad. Su poder calorífico es igual a 10000 cal / Kg.

f) Fuel oil residual

Fuel oil residual se define como una fracción obtenida de la destilación del petróleo, ya sea como un destilado o un residuo. Es un producto líquido de petróleo que se quema en un horno o caldera para la generación de calor o utilizado en un motor para la generación de energía. Fuel oil residual se utiliza principalmente como combustible del quemador en numerosas aplicaciones industriales y comerciales, incluyendo la industria de servicios, la industria naviera y el papel, fábricas de acero, fabricación de neumáticos, las escuelas y los procesadores de alimentos, industrias cementeras y de cal.

g) Aceite quemado:

El aceite quemado se destina como combustible en instalaciones con alta potencia térmica, altas temperaturas, gran consumo de combustible y alta producción de gases. El mayor ejemplo de esto son los hornos de clinker en las cementeras, estos hornos queman el aceite usado y los contaminantes de éste especialmente los metales quedan incorporados al cemento, por lo que no representa problemas de contaminación atmosférica.

h) Alquitrán de hulla

Es un subproducto obtenido de la fabricación del coque. Puede quemar directamente pero se lo utiliza poco como combustible, usándolo sólo en hogares especiales para este, que puedan vencer la viscosidad del mismo. Su poder calorífico es de 9100 cal /Kg.

i) Alquitrán de lignito

Se lo obtiene de la destilación del lignito. Su poder calorífico es 9600 cal / Kg. Es muy similar al gas-oil, pero al utilizarlo en motores diésel, su comportamiento es muy inferior del de los derivados del petróleo.

j) Petróleo

El petróleo o aceite crudo se extrae de pozos perforados a grandes profundidades en los estratos rocosos de la corteza terrestre. A pesar de que algunos compuestos de oxígeno, azufre y nitrógeno que se encuentran en el petróleo; éste contiene principalmente una mezcla de hidrocarburos los cuales se refinan mediante un proceso llamado destilación fraccionada para obtener productos útiles. Este proceso se basa en las volatilidades de los diferentes hidrocarburos que varían inversamente a sus masas moleculares.

Existen tres grandes categorías de petróleos crudos: los de tipo parafínicos compuestos por moléculas en las que el número de átomos de hidrógeno es siempre superior de dos unidades al doble del número de átomos de carbono, los de tipo asfálticos se caracterizan por las moléculas de naftenos que contienen exactamente el doble de átomos de hidrógeno que de carbono y los de base mixta que contienen hidrocarburos de ambos tipos.

La cifra más importante para el uso práctico del aceite crudo es la viscosidad, y es necesario compararla con la temperatura ya que son inversamente proporcionales

k) Alcoholes

Pueden quemar muy fácilmente. Tienen diversos orígenes (derivaciones de: petróleo, vino, papas, etc.). Los alcoholes puros, como combustibles tienen muy poco uso. Su mayor empleo está en la fabricación de mezclas con benzol, bencina o naftas con objeto de mejorar la calidad de las mismas.

Tabla 2.5.: Poder calorífico para distintas clases de combustibles

N. º	Clase de Combustible	Poder Calorífico (Kcal/Kg)
1	Antracita	9500 – 10000
2	Lignito	6300 – 8300
3	Turba	< 6300
4	Coque inferior o pirolizado	7100
5	Carbón mineral	5100 - 5500
6	Bagazo seco	8000 - 9000
7	Bunker tipo A	9200 – 9800
8	Aceite usado	8900 – 9000

Fuente: National Lime Association, Chemical Lime Facts

Tabla N° 2.6: Características fisicoquímicas de los aceites usados

CARACTERÍSTICAS	AUTOMOTOR	INDUSTRIAL
Viscosidad a 40°C, SSU	97 - 120	143 – 330
Gravedad 15,6 °C, ° API	19 - 22	25,7 – 26,2
Peso Específico a 15,6 °C	0,9396 – 0,8992	0,9002 – 0,8972
Agua, %Vol.	0,2 -33,8	0,1- 4,6
Sedimentos, % Vol.	0,1 – 4,2	0
Insolubles en Benceno, %Peso	0,56 – 33,3	0
Solubles en gasolina, %	2,0 – 9,7	0
Punto de ignición, °C	78 – 220	157 -179
Poder Calorífico, MJ/Kg	31560 - 44880	40120 – 41840

Fuente: Manejo ambientalmente adecuado para los desechos aceitosos

2.3.12. Sistemas de combustión para hornos

La temperatura de la llama depende de la composición química del combustible y de la cantidad de exceso de aire que participa en la combustión. Es uno de los principales factores que debe controlarse en la combustión dentro de un horno. El control del perfil de la llama depende de los siguientes factores dominantes:

- La temperatura del aire de combustión depende de una efectiva recuperación del calor del material quemado.
- Cantidad óptima de exceso de aire
- La velocidad de mezclado del combustible y el aire de combustión.
- El tipo y la cantidad de combustible utilizado.

2.3.12.1. Tipos de hornos para fabricar cal viva

En la industria moderna se pueden encontrar varios tipos de hornos para la fabricación de cal viva, entre ellos mencionaremos algunos con sus características operacionales:

2.3.12.1.1. Hornos verticales

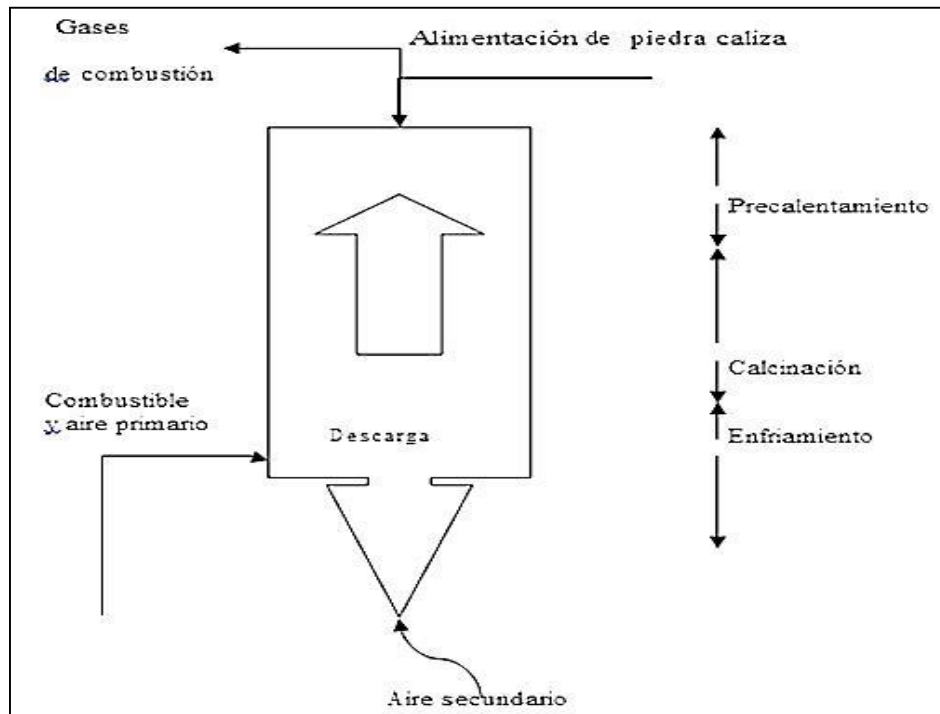
La teoría de calcinación ha demostrado que la manera más eficiente de producir cal de alta calidad es aplicar una cantidad considerable de calor al inicio de la calcinación, dado que la caliza se encuentra en forma de carbonatos y no se tendrá pérdida de calidad, mientras que al final del proceso de calcinación debe existir una disminución de la cantidad de calor a suministrar. Conociendo su mecanismo de transferencia de calor podemos analizar los hornos verticales. (Figura 2.1)

a. Hornos verticales a contracorriente

En estos hornos los gases calientes de combustión y el aire de enfriamiento ingresan por la parte baja del horno, zona que usualmente corresponde a la parte final de calcinación. Este proceso ocasiona que el producto final en la zona de calcinación se lleve por encima de la temperatura de calcinación de la piedra (800 °C) obteniendo una cal sobre quemada, especialmente en aquellos puntos donde la distribución de los gases de combustión y el aire de enfriamiento no sea homogénea.

Otro fenómeno que se presenta en este tipo de hornos es la baja transferencia de calor del aire de combustión en la zona de enfriamiento; la entalpía de la cal limita la temperatura ocasionando que el calor sensible escape con las piedras de cal y por consiguiente un producto a la descarga del horno con una temperatura muy alta para las aplicaciones industriales de este producto.

Figura 2.1: Diagrama de operación de hornos verticales a contracorriente



Fuente: Claudia L. Calderón A.

b. Hornos verticales de corriente paralela

Regenerativos

En los hornos regenerativos, los gases calientes ingresan por la parte superior del horno en donde exista la mayor diferencia de temperatura con la piedra caliza. Los gases de combustión se hacen pasar por la zona de calcinación transfiriendo el calor a la piedra caliza de la zona de precalentamiento, el cual será utilizado cuando el proceso se revierta. Este fenómeno es precisamente lo que hace que los hornos regenerativos sean económicos en el consumo de energía térmica.

Otro parámetro a considerar es la posibilidad de seleccionar la cantidad de aire en exceso que se utiliza en la combustión debido a la relación que guarda con respecto a la longitud de la llama. Es decir una mayor cantidad de aire de

combustión crea una llama más corta, y una cantidad menor de aire provoca una llama más larga.

La característica principal de estos hornos es el aire de enfriamiento, el cual es introducido a presión por la parte baja del fondo del horno acondicionando la cal a una temperatura inferior a los 100° C permitiendo de esta forma ser utilizada para aplicaciones diversas.

2.3.12.1.2. Horno rotatorio largo

El funcionamiento es muy similar al de un horno de CLINKER, en este horno la caliza es alimentada en la parte posterior a través de un chifle que está integrado a la recámara del horno.

El flujo de material y de gases es a contracorriente pudiéndose

Definir en el horno tres secciones básicas:

- ❖ Zona de precalentamiento
- ❖ Zona de calcinación
- ❖ Zona de enfriamiento

A medida que el material avanza por el horno, se forman tres zonas bien definidas que dependen del tamaño de las partículas; las más grandes tienden a colocarse en la parte externa de la carga de material, lo más cercano al ladrillo; mientras que las partículas medianas y pequeñas tienden a moverse en el centro de la cama del material. El grado de llenado de estos hornos usualmente se encuentra en el orden del 10 al 12 %.

Usualmente se construyen anillos de retención en el interior del horno en cada una de las zonas previamente enunciadas con el objetivo de aumentar el tiempo de retención del material en el horno. Debido al diseño del horno tipo contracorriente, la cal producida en estos hornos tiende a ser sobre quemada especialmente cuando no se toman las medidas operativas

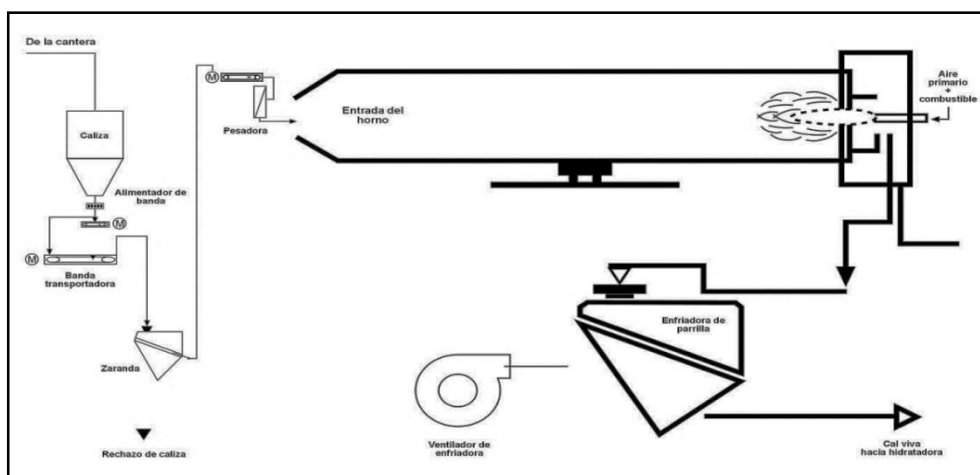
adecuadas en el control de la temperatura dentro del horno o en la distribución granulométrica en la alimentación. (Figura 2.2)

2.3.12.1.3. Horno rotativo con pre calentador

Este tipo de horno combina las características de un horno vertical a contracorriente y un horno largo rotatorio. El material es alimentado por la parte superior del pre calentador donde este sufre el proceso de precalentamiento (piedras grandes) y calcinación (piedras pequeñas). El material es dosificado al horno rotatorio a través de un sistema neumático que las dosifica al interior del tubo del horno donde las piezas segregan de acuerdo a su tamaño tal como se describió en el tema de horno rotatorio largo; protegiendo de esta manera las piezas ya calcinadas en el centro de la cama de material y las más grandes son calcinadas a lo largo del horno.

Debido al continuo movimiento que sufre la cama de material en el interior del horno rotatorio, las impurezas absorbidas en el pre calentador (cenizas y azufre) provenientes de los combustibles son eliminados y un producto de mejor calidad es ofrecido.

Figura 2.2: Funcionamiento de un horno horizontal rotativo para fabricar cal viva



Fuente: Claudia L. Calderón A.

2.3.13. Quemadores

El quemador en un horno rotatorio funciona como un inyector cuyo propósito es atraer el aire secundario que viene del enfriador hacia la llama a fin de que el combustible se queme lo más cerca posible de la línea central del horno.

La velocidad de la boquilla del quemador depende de la presión de aire, la cual depende del ventilador de aire primario o de un soplador.

Los requerimientos para un quemador de horno desde el punto de vista del proceso son:

- El quemador debe estar en la capacidad de quemar por completo cualquier combustible: carbón, coque, aceite, gas natural, combustibles de desecho y mezclas de éstos con poco exceso de aire y con una mínima producción de monóxido de carbono y de óxidos de nitrógeno (NO_x).
- El quemador debe estar en condiciones de producir una llama corta, esbelta y muy radiante. Este es un requisito para una buena transferencia de calor de la llama al material en la zona de combustión.
- La forma de la llama debe ser capaz de formar una capa densa y estable sobre el ladrillo refractario en la zona de combustión del horno.
- El quemador debe utilizar la cantidad necesaria de aire primario (aire de combustión), ya que éste proporciona básicamente el oxígeno necesario para quemar la totalidad de combustible; generalmente se utiliza en exceso del 5 al 25 %.

Existen varios parámetros importantes para encontrar el quemador óptimo:

- El momentum o cantidad de movimiento de aire primario
- El remolino del aire primario
- El diseño del quemador

2.3.13.1. Tipos de quemadores

2.3.13.1.1. Quemadores de carbón

Los quemadores de carbón pulverizado más simples son normalmente de tubo de acero recto, tal vez con una punta de quemador cónica que puede cortarse hasta que se obtenga la forma de la llama requerida. En la bibliografía se puede encontrar una curva para verificar la velocidad óptima de la inyección de quemadores rectos de carbón en función de la relación del aire primario. Sin embargo es preferible utilizar quemadores de llama ajustable.

2.3.13.1.2. Quemadores de gas

Es requisito primordial cuando se trate de quemadores de gas natural la posibilidad de producir una zona de flujo reverso en el centro de la llama, a fin de conseguir localmente la atmósfera reductora en la que las moléculas hidrocarbonadas se aglomeran formando cadenas más anchas (hollín). Esto es necesario para aumentar la emisividad de la llama del gas, siendo esta una condición previa para la transferencia de calor. Estos quemadores utilizan una boquilla que consiste en un orificio circular con una aguja cónica que atraviesa en forma concéntrica. La boquilla tiene forma de anillo y el ancho del anillo determina el tamaño de las gotas. El objetivo primordial de una boquilla de quemador de aceite es atomizar el aceite en forma de gotas de tamaño adecuado y distribuir las al aire de combustión.

2.3.13.1.3 Quemadores de aceite

Estos quemadores utilizan una boquilla que consiste en un orificio circular con una aguja cónica que atraviesa en forma concéntrica.

La boquilla tiene forma de anillo y el ancho del anillo determina el tamaño de las gotas. El objetivo primordial de una boquilla de quemador de aceite es atomizar el aceite en forma de gotas de tamaño adecuado y distribuir las al aire de combustión.

2.3.13.2. Clases de quemadores

2.3.13.2.1. Quemador de un flujo(mono-canal)

Formado solo de un tubo aislado de acero liso en el cual una parte es de acero termo-resistente. El tamaño del orificio debe ser tal que produzca el volumen de aire y la velocidad de inyección deseados dentro del rango de presión del ventilador. Para hacer más flexible al quemador, la parte del orificio puede hacerse de distintos diámetros intercambiables.

Se diseñó originalmente para prender directamente molinos de carbón, sin embargo este tipo de quemador también es apropiado para carbones con alto contenido de ceniza y capacidad de abrasión ya que el tubo del quemador está menos expuesto al desgaste. (Figura 3)

2.3.13.2.2. Quemador combinado (multi-canal)

Es un quemador de tres canales para combustión combinada de carbón y aceite, puede quemar carbón o coque de petróleo en un rango de 0 - 1.

Las características más importantes se enumeran a continuación:

- Momentum de aire primario hasta 2000 % m/s.
- Fácil ajuste, la suspensión especial del tubo interno minimiza la fricción aun cuando el tubo del quemador está sujeto a esfuerzos de flexión y calor. Las aperturas de la boquilla para ambos canales de aire se pueden ajustar dentro de un rango muy amplio.
- Gran cantidad de aire axial

- Larga vida, el carbón molido se introduce en dirección axial al 100 % produciendo un mínimo de desgaste. Esto es particularmente importante cuando se van a utilizar tipos de carbón con alto contenido de ceniza.

2.3.13.2.3. QUEMADOR DE UN FLUJO(con dos canales)

Está diseñado para un consumo mínimo de aire primario. La tubería de protección está rodeada de cuatro tubos concéntricos formando cuatro secciones transversales anulares. Las secciones cruzadas son: del centro hacia fuera, el conducto de aire primario interno, el conducto de carbón y transporte de aire, el conducto de flujo de retorno y el conducto de aire primario externo.

El aire primario será suministrado por un soplador rotatorio, este puede controlarse mediante una válvula de escape operada centralmente conectada a la línea de aire entre el soplador rotatorio y el quemador. La forma de la llama se puede cambiar ajustando el flujo de aire primario. Una alta presión (y flujo) darán una llama corta y luminosa, en tanto que una baja presión de aire dará una llama más larga y menos luminosa.

2.3.13.2.4. Quemador múltiple(aceite/carbón/gas)

Representa un nuevo diseño con un tubo colocado en el centro, este sirve para introducir combustibles gaseosos y líquidos rodeados de un canal anular de carbón el cual está nuevamente rodeado de dos tubos colocados céntricamente formando dos canales de aire primario, uno para aire radial y otro para aire axial.

Los dos chorros de aire se mezclan antes de ser inyectados a través de la boquilla cónica de aire. Los dos tubos externos, el de aire radial y el tubo del quemador forman una estructura de

soporte muy rígida que garantiza una reflexión mínima del tubo del quemador y una larga vida de los elementos refractarios. En la siguiente figura se muestra un quemador de gas, el cual utiliza varios canales para poder llevar todos los elementos que se necesitan para la combustión.

Las características pueden resumirse de la siguiente manera:

- Aire primario de 6 a 8 %
- Inyección del combustible cerca de la línea central del quemador.
- Diseño robusto con pocas piezas móviles.
- Boquilla de aire ajustable, 50 – 100 % del área completa con detección mecánica de la posición de la boquilla.
- Ajuste preciso del remolino utilizando un amortiguador en la entrada de aire. No hay piezas móviles en la punta del quemador.
- Llama corta, estable, no divergente que ofrece una zona de combustión corta. Esto implica menor temperatura de salida del horno, menores temperaturas en la cubierta del horno (prolongación de la vida del revestimiento).
- Evolución del NOx moderada.
- Muy apropiado para combustibles alternativo

2.3.14. Alimentación de carbón pulverizado al quemador

2.3.14.1. Diseño de la salida de la tolva

La tolva deberá diseñarse para flujo de masa.

La sección de salida que ha de ser activada para impedir el arqueo de carbón pulverizado, debe ser por lo menos de 1200 mm de diámetro para salidas circulares y de 6000 x 800 para descargas ranuradas.

Una inclinación de tolva de 70 grados no es suficiente en la mayoría de los casos, ni siquiera cuando se trate de tolvas de acero inoxidable.

Los sistemas de aireación por impulsos para la activación del flujo sólo son adecuados para tolvas que alimentan un sistema de dosificación por pérdida de peso.

2.3.14.2. TRANSPORTE NEUMÁTICO AL QUEMADOR

La relación polvo / aire no se considera crítica, los valores normales son del orden de 5 Kg/m³; pero se ha comprobado que no existen problemas con valores de hasta 12 kg/m³.

Las fluctuaciones causadas por el dispositivo de alimentación de carbón al aire de transporte (bomba neumática, válvula neumática rotatoria) deberían evitarse por un diseño adecuado del alimentador (tamaño, velocidad de tornillo, velocidad de cierre de aire, número y disposición de celdas de alimentador rotatorias, desempolvamiento).

La velocidad del dispositivo de transporte neumático al quemador es uno de los puntos más críticos para el flujo regular de carbón. Para evitar las pulsaciones causadas por formación de bolsas en la tubería de transporte neumático, se debería de manejar una velocidad superior a 32 m/s.

La tubería de transporte neumático debería disponerse exclusivamente en secciones por fuerzas centrífugas. Los mejores resultados se obtienen con marmitas de derivación.

2.3.14.3. Sistema de almacenamiento de carbón

Los más comunes para dosificar carbón son:

- Tornillo medidor de carbón solamente
- Tornillo medidor de carbón, seguido de una pesa de impacto.

- Pérdida del sistema de pesaje tipo Simples, el tanque de alimentación se coloca sobre celdas de carga. El tanque se llena y se desocupa de manera alterna.
- Dosificador Phiser, consiste en una máquina compacta que funciona simultáneamente como pesa alimentadora y como dispositivo de transporte del carbón

2.3.15. Análisis económico de quemadores

La decisión a favor de un sistema de combustión que satisfaga las necesidades de una empresa depende de varios factores, como por ejemplo: para quemadores de un solo canal, en el donde el combustible y el aire se introducen juntos a través de un boquilla común, la cantidad de aire estará determinada por el sistema del molino de carbón, lo cual implica que es posible ajustar la forma de la llama durante la operación.

En quemadores de múltiples canales, la cantidad de aire primario, la velocidad de descarga y el remolino son ajustables y, por lo tanto, se puede ajustar la forma de la llama con varios controles propios del sistema.

Sin embargo el más importante es el factor económico, que nos indica si el proyecto es favorable o no para la empresa.

2.3.16. El análisis costo - beneficio

El análisis costo-beneficio es una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que se pueden hacer en un negocio en marcha tales como el desarrollo de nuevo producto o la adquisición de nueva maquinaria. Mientras que la relación costo-beneficio (B/C), también conocida como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto.

Según el análisis costo-beneficio, un proyecto o negocio será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad. $B/C > 1 \rightarrow$ el proyecto es rentable.

Los pasos necesarios para hallar y analizar la relación costo-beneficio son los siguientes:

- Hallar costos y beneficios: en primer lugar hallamos la proyección de los costos de inversión o costos totales y los ingresos totales netos o beneficios netos del proyecto o negocio para un periodo de tiempo determinado.
- Convertir costos y beneficios a un valor actual: debido a que los montos que hemos proyectado no toman en cuenta el valor del dinero en el tiempo (hoy en día tendrían otro valor), debemos actualizarlos a través de una tasa de descuento.
- Hallar relación costo-beneficio: dividimos el valor actual de los beneficios entre el valor actual de los costos del proyecto.
- Analizar relación costo-beneficio: si el valor resultante es mayor que 1 el proyecto es rentable, pero si es igual o menor que 1 el proyecto no es viable pues significa que los beneficios serán iguales o menores que los costos de inversión o costos totales.
- Comparar con otros proyectos: si tendríamos que elegir entre varios proyectos de inversión, teniendo en cuenta el análisis costo-beneficio, elegiríamos aquél que tenga la mayor relación costo-beneficio.

2.3.17. Medio ambiente

Según el Sistema Integrado de Gestión y Control “SIGYCO” (2015-colombia) de la Corporación Autónoma del Guavio “ Comprometidos por la Naturaleza”

2.3.17.1. Definición de términos ambientales

a) **Actividad:** Etapa que hace parte del desarrollo de un proceso.

- b) Aspecto Ambiental:** Elementos de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.
- c) Impacto Ambiental:** Cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización.
- d) Matriz de identificación de aspectos y valoración de impactos ambientales:** Herramienta que permite identificar los elementos de una actividad o producto (bien y/o servicio) que realiza la entidad en diferentes escenarios, relacionadas a la interacción con el ambiente, permitiendo valorar el daño que potencialmente se deriva de dicha actividad o producto y la identificación apropiada del control operacional.
- e) Valoración del impacto ambiental:** Procedimiento técnico que permite interpretar cualitativa o cuantitativamente a través de variables, como escalas de valor fijas que definen los atributos mismos del impacto ambiental así como el cumplimiento normativo en relación con el aspecto ambiental.
- f) Importancia del impacto ambiental:** Interpretación cuantitativa de variables con escalas de valor fijas, que permiten identificar los atributos mismos del impacto ambiental así como el cumplimiento normativo en relación con este y/o el aspecto ambiental. Permitiendo clasificar el impacto ambiental en un rango de importancia de irrelevante, moderado, severo y crítico.
- g) Criterios de significancia:** Parámetros definidos por la entidad para determinar la importancia de cada uno de los aspectos ambientales identificados, teniendo en cuenta los criterios legales ambientales, políticas corporativas, partes interesadas.

- h) Erraría:** (Eliminar – Reducir – Reutilizar – Reciclar – Controles de Ingeniería – Advertencias o Controles Administrativos). Metodología utilizada como medio para conocer la información requerida para crear programas ambientales y planes de acción.
- i) Estado de emergencia:** Situación que se genera durante una operación rutinaria o no rutinaria, en la cual los equipos y las instalaciones se encuentran en un estado crítico, donde requiere una intervención especializada para su control.
- j) Afectación:** Cambios temporales en las características (físicoquímicas) del entorno: agua, aire, suelo, en cantidades, concentraciones o niveles que no son capaces de interferir con el bienestar ni con la salud de las personas, ni contra la flora ni fauna, ni degradar la calidad del medio ambiente, El medio ambiente puede volver a su estado original mediante procesos propios o aplicación de acciones artificiales temporales.
- k) Contaminación:** Se entiende por contaminación la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza, en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y la fauna, degradar la calidad del medio ambiente, degradar los recursos de la nación o de los particulares. El daño ambiental puede calificarse desde menor hasta catastrófico. Las acciones de recuperación y remediación pueden variar desde el inmediato hasta el largo plazo. Se da la calificación de daño ambiental irreparable, cuando no es posible recuperar los medios afectados, ni los ecosistemas asociados a éstos y por tanto deben aplicarse medidas de compensación.

- l) Actividad rutinaria:** Actividades realizadas continuamente durante la jornada laboral. Si se realiza más de dos (2) veces por semana se considera actividad rutinaria.
- m) Actividad no rutinaria:** Actividades no realizadas frecuentemente durante la jornada laboral. Si se realiza una (1) vez a la semana, es una actividad no rutinaria. Es también, aquella actividad no planeada.
- n) Estado de emergencia:** Situación que se genera durante una operación rutinaria o no rutinaria, en la cual los equipos y las instalaciones se encuentran en un estado crítico, donde requiere una intervención especializada para su control.

2.3.18. Cálculos para la optimización de combustión de la piedra caliza.

Según GONZÁLEZ GAVILÁNEZ, LUCÍA ISABELA. (2012- Riobamba – Ecuador) en su tesis “optimización del proceso de combustión para el tratamiento de la caliza en la obtención de cal y derivados de la corporación los nevados”.:en su investigación nos orienta para optimizar la combustión.

2.3.18.1. Balance de masa y energía en el horno vertical balance

de masa: Para realizar el balance de masa se obtuvo informa experimental los datos siguientes:

% CaCO_3 = 99,4%

Cantidad de la piedra caliza = 8 750 kg/día

Figura 2.3: Balance de la energía de combustión.



Fuente: Elaboración propia

2.3.18.2. Cantidad en kg. de caliza que reacciona en la calcinación.

$$\frac{8\,750\text{ Kg CaCO}_3}{\text{día}} \times \frac{99,4\text{ Kg CaCO}_3}{100\text{ Kg CaCO}_3} = \frac{8\,697,5\text{ Kg CaCO}_3}{\text{día}}$$

➤ Cantidad de cal viva obtenida:

$$\frac{8\,750\text{ Kg CaCO}_3}{\text{día}} \times \frac{\text{kmol CaO}}{\text{kmol CaCO}_3} \times \frac{\text{kmol CaCO}_3}{100\text{ Kg CaCO}_3} \times \frac{56\text{ Kg CaO}}{\text{kmol CaO}} = \frac{4\,900\text{ kg CaO}}{\text{día}}$$

➤ Tomando en cuenta la pureza de la piedra caliza.

$$\frac{8\,697,5\text{ Kg CaCO}_3}{\text{día}} \times \frac{\text{kmol CaO}}{\text{kmol CaCO}_3} \times \frac{\text{kmol CaCO}_3}{100\text{ Kg CaCO}_3} \times \frac{56\text{ Kg CaO}}{\text{kmol CaO}} = \frac{4\,870,6\text{ kg CaO}}{\text{día}}$$

➤ Cantidad de CO₂ desprendido:

$$\frac{8\,750\text{ Kg CaCO}_3}{\text{día}} \times \frac{\text{kmol CaO}}{\text{kmol CaCO}_3} \times \frac{\text{kmol CaCO}_3}{100\text{ Kg CaCO}_3} \times \frac{44\text{ Kg CO}_2}{\text{kmol CaO}} = \frac{3\,850\text{ kg CO}_2}{\text{día}}$$

➤ Tomando en cuenta la pureza de CaCO₃ piedra caliza.

$$\frac{8\,697,5\text{ Kg CaCO}_3}{\text{día}} \times \frac{\text{kmol CaO}}{\text{kmol CaCO}_3} \times \frac{\text{kmol CaCO}_3}{100\text{ Kg CaCO}_3} \times \frac{44\text{ Kg CO}_2}{\text{kmol CaO}} = \frac{3\,826,9\text{ kg CO}_2}{\text{día}}$$

2.3.18.3. Producción de cal viva en la reacción de calcinación de la piedra caliza.

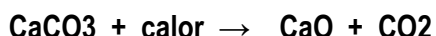


Tabla N° 2.7: Pesos moleculares de los compuestos químicos de la reacción de calcinación de la caliza.

COMPUESTO QUIMICO	PESO MOLECULAR Kg/mol
CaCO ₃	100
CaO	56
CO ₂	44

Fuente: Elaboración propia

Calculo del factor de carga:

$$F = \frac{100\text{kg CaCO}_3}{56\text{kg CaO kg}} = 1,78 \text{ kg } \frac{\text{CaCO}_3}{\text{kg.CaO}}$$

Dónde:

CP = Capacidad de proceso (kg de piedra caliza CaCO₃)

C. Prod. = Capacidad de producción (kg de cal viva CaO)

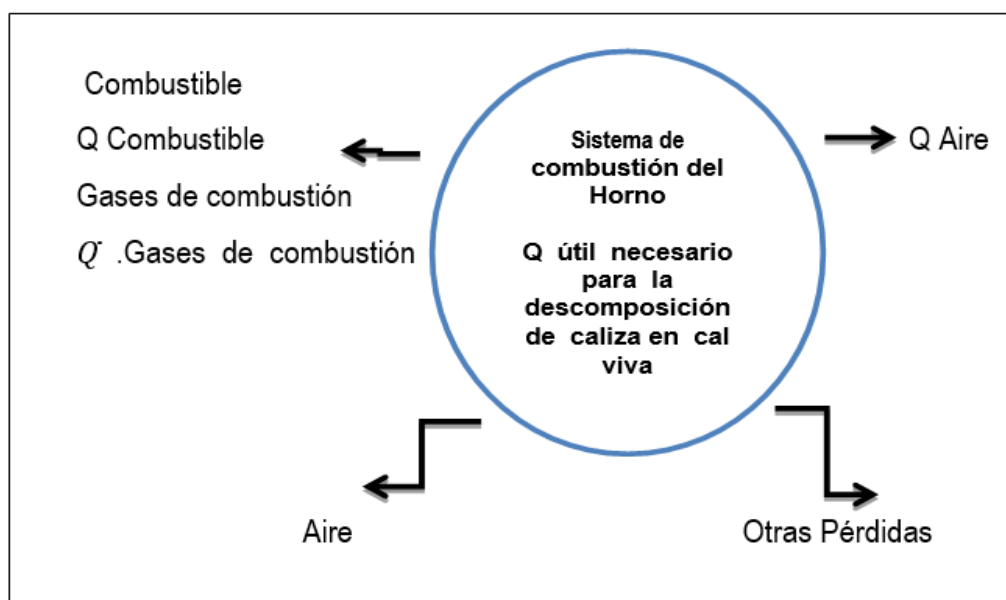
f = Factor de carga de material.

$$C. \text{ Prod.} = \frac{CP}{f}$$

$$C \text{ prod.} = \frac{8\,750 \text{ Kg } \text{CaCO}_3}{1,78\text{Kg } \text{CaCO}_3} = 4\,899,22 \text{ Kg CaO}$$

2.3.18.4. Balance de la energía:

Figura 2.4: Flujos de calor en el horno



Fuente: Lucía I. Gonzales G.

2.3.18.5. Cálculo de calor útil para la disociación de CaCO_3

Entalpías de Formación de los compuestos químicos de la reacción de calcinación de la caliza

$$\Delta H_{\text{reacción}} = \Delta H_{\text{formación de productos}} - \Delta H_{\text{formación de reactivos}}$$

Tabla N° 2.8: Calor Estándar de Formación.

Compuesto Químico	Entalpía de Formación (Kcal/mol)
CaCO_3	-289,5
CaO	-151,7
CO_2	-94,054

Fuente: PERRY R. Manual del Ingeniero Químico

$$\Delta H_{\text{reacción}} = [\text{H formación de CaO} - \text{H formación CO}_2] - \text{H formación CaCO}_3 \text{ Kcal/mol}$$

$$\Delta H_{\text{reacción}} = \{[(-151,7 + (-94,054)) - (-289,5)] \text{ Kcal/mol}$$

$$\Delta H_{\text{reacción}} = \{[(-151,7 + (-94,054)) - (-289,5)] \text{ Kcal/mol}$$

$$\Delta H \text{ reacción} = (-2245,754 + 289,5) \text{ K cal/mol}$$

$$\Delta H \text{ reacción} = 43.746 \text{ Kcal/mol.}$$

➤ Entonces el calor mínimo necesario para la disociación es:

$$Q \text{ Min} = \frac{43.746 \text{ Kcal}}{\text{Mol}} \times \frac{1 \text{ kmol CaO}}{56 \text{ Kg CaO}} \times \frac{1000 \text{ Mol}}{1 \text{ kmol}}$$

$$Q \text{ Min.} = \frac{781,18 \text{ kcal}}{\text{kg CaO}}$$

CALOR DEL CARBÓN ANTRACITA COMO COMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL.

Carbón fijo: 64,14%

Antracita: Poder calorífico superior 32 262 Kj/kg o 7 707,13 kcal/kg

Poder calorífico inferior 27 200 KJ/kg o 6 497,86

kcal/kg

$$= \frac{4\,870,6 \text{ kg CaO}}{\text{día}}$$

día

➤ Calor mínimo requerido para producir oxido de calcio:

$$Q \text{ Min.} = 781,18 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg CaO}}$$

$$Q \text{ Min} = (4\,870,6 \text{ kg CaO/día}) \times (781,18 \text{ kcal/kg CaO}) = 3\,804\,815 \text{ Kcal.}$$

➤ Combustible utilizado por día :

$$= \frac{144 \text{ kg}}{1 \text{ capas}} \times \frac{10 \text{ capas}}{\text{día}} = 1\,440 \text{ kg/día}$$

➤ Calor mínimo aportado por el combustible:

$$Q \text{ Min.} = (6\,497,86 \text{ kcal/kg}) \times (1\,440 \text{ kg}) = 9\,356\,918,4 \text{ kcal/día}$$

➤ Calor suministrado para la producción :

$$= (9\,356\,918,4 \text{ kcal./día}) / (4\,870,60 \text{ kg CaO/día}) = 1921,10 \text{ kcal/kg CaO}$$

2.3.19. Optimización del proceso de combustión

Alternativas de solución para las áreas: Operacional, Calidad del producto, eficiencia del proceso de combustión y medio ambiente.

Tabla N° 2.9: Alternativas de solución para la optimización de combustión.

ÁREA BENEFICIADA	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	DESCRIPCIÓN DE ALCANCE
OPERACIONAL	Implementación de una trituradora para la reducción de tamaño carbón antracita. Implementación de estandarización del tamaño. • Para reducir los costos y obtener más beneficios • Buena combustión completa Control de seguridad ocupacional Control de pesaje de caliza y carbón antracita para hechar al horno	Realizará la trituración de forma eficiente disminuyendo así el tiempo. Obtención del tamaño homogéneo de antracita. Identificación de peligros, evaluación de riesgos y su control. (IPERC) En la exposición a temperaturas altas. Uso de balanza y baldes.
CALIDAD DEL PRODUCTO	Disminución del tamaño de carbón antracita y la caliza Obtención de caliza con un contenido de $\text{CaCO}_3 > 95\%$	Para reducir el material crudo y buena calcinación de la caliza Para un mejor rendimiento de reacción durante la calcinación, y producir una cal viva de calidad.
EFICIENCIA DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN	La reducción al mínimo de granulometría del tamaño de antracita.	Control de la temperatura al disminuir el calor en la etapa de enfriamiento.
MEDIO AMBIENTE	Con el objetivo de minimización del impacto ambiental	Ayudará la disminución de la emisión atmosférica de gases con el uso racional.

Fuente: Elaboración propia

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

H1: El estudio del rendimiento de tres tamaños de antracita optimiza la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. - U/P Rumichaca – Lircay.

Ho: El estudio del rendimiento de tres tamaños de antracita no optimiza la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. - U/P Rumichaca - Lircay.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:

- a) Se optimiza económicamente los residuos de desmonte al final del proceso de combustión con el tamaño definido de antracita en la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay.
- b) El tamaño óptimo de antracita optimiza la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay.

2.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- a) **Antracita:** Es un mineral de carbón más metamórfico, de color oscuro con tonalidades azules brillantes, presenta mayor contenido en carbono.
- b) **Caliza:** Las calizas son rocas sedimentarias que contienen por lo menos 50% de minerales de calcita (CaCO_3) y dolomita ($\text{Ca, Mg (CO}_3\text{)}$), predominando la calcita.
- c) **Calor:** El calor se define como la transferencia de energía térmica que se da entre diferentes cuerpos a través de la frontera de un sistema debido a la diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno.
- d) **Combustión:** Acción o efecto de arder o quemar, combinación de un combustible con un comburente (oxígeno), con desprendimiento de calor
- e) **Estudio:** Esfuerzo del entendimiento que se aplica a aprender o cultivar alguna disciplina, arte o ciencia.
- f) **Empresa:** Es una organización o institución dedicada a actividades o persecución de fines económicos o comerciales para satisfacer las necesidades de bienes o

servicios de los demandantes, a la par de asegurar la continuidad de la estructura productivo-comercial así como sus necesarias inversiones.

- g) **Minería:** Es la extracción selectiva de los minerales y otros materiales de la corteza terrestre de los cuales se puede obtener un beneficio económico, así como la actividad económica primaria relacionada con ella. Dependiendo del tipo de material a extraer la minería se divide en metálica, no metálica.
- h) **Horno:** Es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado. Un horno de cal o calera es un horno que permite crear óxido de calcio, es decir cal, mediante la calcinación de la piedra caliza
- i) **Optimización:** Proceso de modificar un sistema para mejorar su eficiencia o también el uso de los recursos disponibles.
- j) **Piedra:** Es una sustancia mineral compacta y de origen natural, no combustible y dura, caracterizado por una elevada consistencia.
En términos geológicos se denomina roca a la piedra.
- k) **Producción:** son cualquier tipo de actividad destinada a la fabricación, elaboración u obtención de bienes y servicios.
- l) **Rendimiento:** La relación entre la cantidad de kJ efectivamente desprendidos por la combustión y la cantidad de KJ correspondientes al poder calorífico inferior de la cantidad de combustible empleado.
- m) **Tamaño:** Conjunto de las dimensiones físicas de una cosa material, por las cuales tiene mayor o menor volumen.
- n) **Temperatura:** La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor, frío, medible mediante un termómetro. La temperatura está íntimamente relacionada con la energía interna y con la entalpía de un sistema, a mayor temperatura mayor será la energía interna y la entalpía del sistema.
- o) **Tiempo:** Es una magnitud física con la que medimos la duración o separación de acontecimientos, sujetos a cambio, de los sistemas sujetos a observación. El tiempo permite ordenar los sucesos en secuencias, estableciendo un pasado, un futuro y un tercer conjunto de eventos ni pasados ni futuros respecto a otro.
- p) **Unidad de Producción:** Conjunto de personas y de medios materiales organizados con la finalidad de obtener bienes o servicios.

2.6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES:

- **Variable Independiente:** Rendimiento de tres tamaños de antracita.
- **Variable Dependiente:** Optimización de Combustión de la piedra caliza.

DEFINICION CONCEPTUAL:

a) Variable Independiente: Rendimiento de tres tamaños de antracita

Es la determinación del tamaño óptimo de antracita en los tres experimentos en la cocción de la piedra caliza, en un horno vertical que económicamente será analizado las pérdidas por generar residuos de desmonte, que el tamaño encontrado tenga un alto rendimiento. En medio ambiente la acumulación de residuos de desmonte es un aspecto ambiental negativo.

b) Variable Dependiente: Optimización de Combustión de la piedra caliza.

La optimización de combustión: es la eficiencia térmica en el horno vertical, se estudian las reacciones químicas de combustión, como: combustión completa, neutra y incompleta, lo que nos interesa es conocer la obtención de combustión completa para no generar los inquemados o residuos de desmonte.

- La combustión completa es óptima, se dice cuando la energía del combustible ha sido liberado en forma de calor, los inquemados es producto de la combustión incompleta no se aprovechó el calor del combustible en su totalidad.
- La eficiencia de combustión se determina mediante la operación matemática así como: $100 - \% \text{ de pérdidas de calor en inquemados de sólidos}$.
- El grado de combustión se observa en: Oxidación ligera, cenizas e imágenes microscópicas.
- Para nuestra observación será macroscópica en la producción de inquemados al final de la combustión.

2.7.DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES

Tabla N° 2.10: Operacionalización de Variables e Indicadores.

VARIABLES	DIMENSIÓN	ESCALA DE CALIFICACIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
VARIABLE DEPENDIENTE Optimización de Combustión de la piedra caliza.	Grado de combustión	Mala Regular Buena	% de residuos	Observación directa: Macroscópica Kg.
VARIABLE INDEPENDIENTE: Rendimiento de tres tamaños de antracita	Económicas	Ganancias y pérdidas.	Valoración en soles/ kg.	Relación de beneficio y costo B/c > 1 B/c < 1
	Ambiental	Impacto ambiental: Positivo y negativo	Matriz de evaluación de impacto ambiental	Observación directa Ficha de observación directa

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

La Empresa Minera Siempre Viva S.A., se ubica en el Paraje Quichqui y Campanario, Unidad de Producción Rumichaca en el distrito de Lircay, Provincia de Angaraes, Región de Huancavelica y Comunidad de Allato.

En la Carta Nacional se ubica en la hoja 26-n, zona 18, altitud entre los 3250 y 3345 m.s.n.m.

COORDENADAS UTM:

Tabla N° 3.1: Coordenadas UTM del proyecto

VERTICE	NORTE	ESTE
01	8,528,992.85	528,992.85
02	8,562,290.90	528,813.53
03	8,562,329.16	528,115.32
04	8,564,324.06	528,224.64

Fuente: Elaboración propia.

3.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Aplicada y Tecnológica

LA INVESTIGACIÓN APLICADA.

ES constructiva o utilitaria, interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación y las consecuencias prácticas que de ella se deriven.

Busca conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar; le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal

LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA.

Responde a los problemas técnicos, está orientada a demostrar la validez de ciertas técnicas bajo las cuales se aplican principios científicos que demuestran su eficacia en la modificación o transformación de un hecho o fenómeno. Son técnicas que se aplican para producir cambios con el experimento.

Está orientada a demostrar la validez de ciertas técnicas bajo las cuales se aplican principios científicos que demuestran su eficacia en la modificación o transformación de un hecho o fenómeno.

3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

EXPERIMENTAL

Organiza deliberadamente condiciones de acuerdo a un plan previo, investiga posibles relaciones causa-efecto, exponiendo a uno o más grupos experimentales a la acción de una variable experimental y contrastando sus resultados con grupos de control o comparación.

3.4 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. MÉTODOS GENERALES

Según, CARRASCO DÍAZ, SERGIO. (2012-Lima-Peru.) en su libro de Metodología de investigación científica., menciona del método científico, que tiene procedimientos, técnicas e instrumentos, acciones estratégicas y tácticas para resolver el problema de investigación y así probar la hipótesis científica.

3.4.2. MÉTODOS ESPECÍFICOS

a) MÉTODO EXPERIMENTAL

La investigación experimental, manipula intencionalmente las variables independientes para ver los efectos en las variables dependientes, bajo el control del investigador, en la que hay un grupo de control y un grupo experimental.

b) MÉTODO DE MATEMATIZACIÓN

Es la estadística y el cálculo de probabilidad, los fenómenos estudiados deben ser expresado cuantitativamente.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

EXPERIMENTAL:

Según, Hernández Sampieri, Roberto (2006-Mexico), en su libro de la Metodología de investigación, menciona que es la estrategia o plan para obtener la información. Es la manipulación intencional de uno o más variables independientes.

La variable dependiente no se manipula, si no que se mide para ver el efecto con el variable independiente.

Variable independiente (causa): Rendimiento de tres tamaños de antracita (X1)

Variable dependiente (efecto): Optimización de combustión de la piedra caliza (Y)

3.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

POBLACIÓN: calera de la empresa no metálica Siempre viva S.A. – Rumichaca.

MUESTRA: Hornos y chancadoras industriales de la Empresa Minera Siempre Viva S.A.

- **Según** Oseda, Dulio (2008:122) menciona que la muestra es una parte pequeña de la población o un subconjunto de esta, que posee las principales características.

Tabla N° 3.2: Indicadores de cálculo de muestreo probabilístico.

Z= Nivel de significancia	1,96
N= Población	110
P= Probabilidad de éxito	0,5
Q= Probabilidad de fracaso	0,5
E= Estimación de error	0,05
$n^{\circ} = (Z^2NPQ)/(Z^2PQ+(N-1)E^2)$	85,68

Fuente: Elaboración propia.

MUESTREO: se tomó 86 muestras de carbón de piedra antracita al azar.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

Las técnicas usadas en la presente investigación son:

- **Entrevistas:**

Este método se utiliza para recabar información en forma verbal, a través de preguntas que proponen los integrantes del trabajo de investigación. Sirve para analizar la realidad y estado de la situación problemática.

- **Análisis documental:**

Recolección de información a través de documentos existentes ya sean en libros, revistas, tesis e internet entre otras.

- **Consultas bibliográficas:**

Se consultará material bibliográfico (tesis, libros, etc.), así como también información obtenida de internet, et

- **Observación directa de las muestras de minerales no metálicas:**

Observación directa de los materiales y productos industriales en los trabajos realizados en la cantera y el horno.

- **Estudio técnico de los minerales no metálicos.**

3.7.2. LOS INSTRUMENTOS:

Los instrumentos usados en la presente investigación son:

- ❖ Datos de campo (in situ)
- ❖ Tesis
- ❖ Monografías y trabajos de las minas
- ❖ Publicaciones, Revistas, documentales
- ❖ Trabajos inéditos
- ❖ Internet.
- ❖ Formato de recojo de datos en Excel y SPSS 20.
- ❖ Balanza Analítica, Flexómetro.

3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- ❖ Visita al campo con recolección de datos a muestras de carbón antracita, al azar.
- ❖ EL Cuaderno de apunte de toda la observación.
- ❖ Entrevistas al personal de la Empresa.
- ❖ Los programas Excel y SPSS 20 es de mayor utilidad.

3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Se utilizó software estadístico para realizar cálculos y diseños, asimismo el árbol de causa-efecto:

- ❖ Programas aplicativos
- ❖ Procesadores de textos
- ❖ Bases de datos
- ❖ Hojas de cálculo
- ❖ Estadígrafos de la estadística inferencial como la prueba “t” para contrastar la hipótesis de investigación.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE TRES TAMAÑOS DE ANTRACITA PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN DE LA PIEDRA CALIZA

Tabla N° 4.1: Análisis de combustión incompleta de antracita en piedra caliza.

Combustión (Y1)	Rendimiento bajo de tamaños de antracita (X1)	Tiempo (X2)	Temperatura (X3)
INCOMPLETA I Mala al 85,05%	Antracita : C Peso : 555 gr Volumen : 413,16 cm ³ Diámetro : 4 pulgadas		
	Caliza CaCO ₃ Peso : 1016,4 gr Volumen : 465,17 cm ³ Diámetro : 4,30 pulgadas		
	Pre- combustión	24 horas	1000 °C
	Combustión	24 horas	1200 °C
	Pre-enfriamiento	24 horas	1000 °C
	Enfriamiento	24 horas	27°C

Fuente: Elaboración propia, experimento 01.

Peso específico de la Caliza : 2,19 gr/cm³

Peso específico de la Antracita : 1,34 gr/cm³

Tabla N° 4.2: Análisis de combustión incompleta de antracita en piedra caliza

Combustión (Y2)	Rendimiento medio de tamaños de antracita (X2)	Tiempo(X3)	Temperatura(X4)
INCOMPLETA II Regular al 88,04%	Antracita : C		
	Peso : 204gr		
	Volumen : 152,16 cm ³		
	Diámetro : 3"		
	Caliza CaCO ₃		
	Peso : 1016,4 gr		
	Volumen : 465,17 cm ³		
	Diámetro : 4,30 pulg.		
	Pre- combustión	24 horas	1000 °C
	Combustión	24 horas	1200 °C
	Pre-enfriamiento	24 horas	1000 °C
	Enfriamiento	24 horas	27°C

Fuente: Elaboración propia, experimento 2.

Tabla N° 4.3: Análisis de combustión completa de antracita en piedra caliza.

Combustión (Y3)	Rendimiento Alto de tamaños de antracita (X3)	Tiempo(X4)	Temperatura(X5)
COMPLETA Buena al 100%	Antracita : C		
	Peso : 66,20 gr		
	Volumen : 49,37 cm ³		
	Diámetro : 1,5 Pulgadas		
	Caliza CaCO ₃		
	Peso : 1016,4 gr		
	Volumen : 465,17 cm ³		
	Diámetro : 4,30 pulg.		
	Pre- combustión	24 horas	1000 °C
	Combustión	24 horas	1200 °C
	Pre-enfriamiento	24 horas	1000 °C
	Enfriamiento	24 horas	27°C

Fuente: Elaboración propia, experimento 3.

DISCUSIÓN:

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE ANTRACITA QUE MUESTRA COMBUSTIÓN COMPLETA DE LA PIEDRA

a) EL TRATAMIENTO 01 Y 02:

- Pasa por 4 etapas de quemado, la pre combustión, la combustión, pre enfriamiento y el enfriamiento; esto tiene como consecuencia los inquemados de caliza y carbón de piedra. Esto genera la reducción en producción de cal de 100 % a 85,05 y. 88,04 % del grado de combustión.

b) EL TRATAMIENTO 03:

- Pasa las cuatro etapas de quemado resultando como óptimo, en la etapa de enfriamiento el grado de combustión es completa con el 100 %. Para ello se debe tener en cuenta el control de carga y descarga para la producción óptima, se debe descargar $\frac{1}{4}$ de altura de la columna del horno por día.
- Las temperaturas en pre-combustión es 1000 °C, en combustión es 1200 °C, pre-enfriamiento es 1000 °C y finalmente el enfriamiento es a temperatura ambiental ., el tiempo de permanencia en cada etapa es 24 horas.

CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL

H1 : El estudio del rendimiento de tres tamaños de antracita optimiza la combustión de la piedra caliza en la Empresa minera no metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay

Ho : El estudio del rendimiento de tres tamaños de antracita no optimiza la combustión de la piedra caliza en la Empresa minera no metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay.

1.- Definición de hipótesis

Ho=<100% combustión incompleta

H1=100% combustión completa

- **Se acepta la hipótesis alternativa.**

4.2. RESIDUOS DE DESMONTE PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAL

Tabla N° 4.4: Análisis de desmonte por día en combustión incompleta (inquemados)

Antracita	Ø" Diámetro 4 pulgadas	Ø" Diámetro 3" pulgadas		Ø" Diámetro 1,5- 2" pulgadas
Caliza	CaCO ₃ 8750 Kg/día 99,4% de ley	CaCO ₃ 8750 Kg/día 99,4%		CaCO ₃ 8750 Kg/día 99,4%
combustión incompleta	Caliza :1300 kg Carbón : 105 kg	Caliza : 1040 kg Carbón : 78,75 kg		Caliza : 0 Carbón: 0

Fuente: Elaboración propia.

DATOS DE MEDIDAS:

- ❖ 06 Baldes de carbón por cada capa
- ❖ 01 Balde de Carbón pesa 21 kg
- ❖ 01 Balde de piedra caliza pesa 26 kg.
- ❖ 07 Carretillas de piedra caliza por una capa (7x25=875 kg)
- ❖ 01 Carretilla contiene 05 baldes de piedra caliza
- ❖ 01 Carretilla pesa 5x26 = 125 kg.
- ❖ 07 Carretillas de piedra pesa 7x25 = 875 kg.
- ❖ 06 Baldes de carbón pesa 6x24 = 144 kg

4.2.1. RESUMEN DE CALCULOS QUE OPTIMIZA LA COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAL.

Tabla N° 4.5: Resultados de cálculos de ingeniería de caliza y cal.

	RESULTADOS
Ley CaCO ₃	99,4 %
Cantidad de piedra caliza	8 750 kg/día
Cantidad de cal viva obtenida CaO	4 870,6 kg/día
Cantidad de CO ₂ desprendido de la disociación de la caliza	3 826,9 kg/día
Capacidad de producción de CaO	4 899,22 Kg
Calor mínimo para disociación de la caliza	781,18 kcal/kg CaO
Cantidad de combustible por día	1 440 kg de carbón /Día
Carbón fijo	64,14 %
Poder calorífico	6 497,86 kcal/kg
Calor suministrado por el combustible	1 921,10 kcal/kg CaO
Exceso de aire	45,53 %

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. EFICIENCIA DEL GRADO DE COMBUSTIÓN EN %

Tabla N° 4.6: Eficiencia del grado de Combustión en %

PRODUCTO	Kg	%
Caliza al 99.4%	8 697,5	100
CaO	4 870,6	56
Residuo	0	0
CO ₂	3 826.9	44
Eficiencia de combustión	100%	
Antracita de 1.5" diámetro	1 440	100
Residuo	0	0

PRODUCTO	Kg	%
Caliza 99.4%	8 697,5	100
CaO	3 570,6	41.05
Residuo	1300	14.95
CO2	3 826,9	44
Eficiencia de combustión	85.05%	
Antracita de 4" diámetro	1 440	100
Residuo	105	7.29
Caliza 99.4%	8 697,5	100
CaO	3 830,6	44.04
Residuo	1040	11,96
CO2	3 826,9	44
Eficiencia de combustión	88.04%	
Antracita de 3" diámetro	1 440	100
Residuo	105	7,29

Fuente: Elaboración propia

Cálculos que optimiza la combustión en la producción de cal.

- Hay una producción de 8 750 kg/día de la piedra caliza, con una ley de 99,44 %.
- La producción de CaO es 4 870,6 kg/día; se consumen 1440 Kg/ día de antracita.
- El calor mínimo para la disociación es 781,18 kcal/Kg CaO.
- Dicho análisis se realizó por la entalpia de formación del producto y reactivo, en 1 atm a 25 °C.
- La disociación del CO2 es 3 826,9 Kg/día.
- Carbón fijo : 64,14 %
- El poder calorífico de antracita es de 6 497,86 kcal/kg

Eficiencia del grado de combustión en %:

Combustión completa: Antracita de 1,5" de diámetro

- ❖ CaO al 56 %
- ❖ Eficiencia de combustión 100 %
- ❖ Generación de residuos en 0 %

Combustión incompleta I: Antracita de 3" de diámetro

- ❖ CaO al 44,04 %
- ❖ Eficiencia de combustión al 88,04 %
- ❖ Generación de residuos de óxido de calcio al 11,96 %
- ❖ Residuos de antracita en 11,96 %

Combustión incompleta II: Antracita de 4" de diámetro

- ❖ CaO al 41,05 %
- ❖ Eficiencia de combustión al 85,05 %
- ❖ Generación de residuos de óxido de calcio al 14,05 %
- ❖ Residuos de antracita en 7,29 %

DISCUSIÓN

MEDICIÓN DE RESIDUOS DE DESMONTE AL FINAL DE LA COMBUSTIÓN:

- a) **Tratamiento 1:** Caliza de 1 040 kg, en Carbón antracita de 3" diámetro a 78,75 kg.
- b) **Tratamiento 2:** Caliza de 1 300 kg, en Carbón antracita de 3" diámetro a 105 kg.
- c) **Tratamiento 3:** No hay generación de residuos.

4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS TRES EXPERIMENTOS AL FINAL DE LA COMBUSTIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS.

Tabla N° 4.7: Costos de Operación de Producción de Cal

ACTIVIDADES	PERSONAL	N°	N.S./ TAREA	TOTAL/ TAREA	N.S./ MES	CANTIDAD	MEDIDA	COSTO UNITARIO
	Capataz- a	1	50	50	1 500			
	Capataz- b	1	43	43	1 290	260	Kg	0,17 N.S./Kg
Chancado - Caliza	Peón	1	35	35	1 050	600	Kg	0,06 N.S./Kg
Extracción	Peón	2	35	70	2 100	2000	Kg	0,02 N.S./Kg
Envasado	Peón	2	35	70	2 100	260	SACOS	0,13 N.S./SACO
Chancado de Carbón	Peón	2	32	64	1 920	700	Kg	0,05 N.S./Kg
Apagado	Peón	1	30	30	900	260	SACOS	0,12 N.S./SACO
Zarandeo	Peón	2	30	60	1 800	260	SACOS	0,12 N.S./SACO
Carguío a volquete	Peón	3	30	90	2 700	1000	Kg	0,03 N.S./Kg
		15		512				
Perdidas por Combustión incompleta	Caliza							-0,27 N.S./Kg
	Carbón							-0,80 N.S./kg
Acarreo - caliza				100	3 000	4	VIAJES	25 N.S./VIAJE
Carbón - antracita				375	11250	500	Kg	0,75 N.S./Kg.
Servicios de luz				3,33	100			3,33 N.S./día
Otros				16,67	500			16,67 N.S./día
Gastos operativos (N.S./mes):				30 210				
Perdidas por combustión incompleta (N.S./ mes):								
	4"			13 084				
	3"			10 341,9				
	1.5"			0				
Ingreso Por Venta de CaO (N.S./mes):				40 500	90 000		Kg	0,45 N.S./Kg.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 4.8: Resultado de Beneficio- Costo.

BC= Beneficio/Costo	1,34	Ideal
Antracita de: 4" pulgadas de diámetro	0,94	Perdida
3"	1,00	perdida
1.5"	1,34	Ganancia

Fuente:Elaboración propia

Análisis económico de pérdidas por residuos de desmontes en los inquemados

Tabla N° 4.9: Perdidas por desmontes en combustión incompleta (Caliza y Carbón)

DIAMETROS DE ANTRACITA				
4" pulgadas	Kg	N.S. /día	N.S./mes	PERDIDAS
Caliza	1 300	-352,6	-10 577,5	26,12%
Antracita	105	-83,6	-2 506,5	6,18%
TOTAL			-13 084,0	32,30%
Para 3"				
Caliza	1 040	-282,1	-8 462,0	20,89%
Antracita	78,75	-62,7	-1 879,9	4,64%
Total			-10 341,9	25,54%
Para 1.5"				
Caliza	0	0,0	0,0	0 %
Antracita	0	0,0	0,0	
TOTAL			0,0	

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

ANÁLISIS ECONÓMICO:

a) Tratamiento 01

Para la recuperación de N.S. / 0,94 hay una pérdida por un nuevo sol, en 4" de diámetro de antracita hay una pérdida económica de 13 084 nuevo soles mensuales sumados en los costos de producción.

b) Tratamiento 02

Para la recuperación de N.S. / 1.00, hay una pérdida económica de 10 341,9 nuevo soles invertidos sumados en el costos de operación., para diámetros de antracita de 3".

c) Tratamiento 03

- En cada nuevo sol invertido para la producción de CaO, se recupera N.S./1,34 obteniendo una ganancia de N.S. / 40 500.
- Para controlar las pérdidas se debe reducir el tamaño de antracita a 1,5" de diámetro y al no generar residuos.
- La contrastación de hipótesis específica:
Se optimiza económicamente los residuos de desmonte al final del proceso de combustión con el tamaño definido de antracita en la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay.

H1: >1 B/C

Ho : <1 B/C

Se acepta la hipótesis alternativa del experimento N° 03 , con diámetro de 1,5 el beneficio - costo (B/C) es de: 1,34, resultando ganancia.

4.4. VALORACIÓN AMBIENTAL POR RESIDUOS DE DESMONTE PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN INCOMPLETA.

4.4.1. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL POR EL PARAMETRO DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN Y CONTROL - “SIGYCO”- COLOMBIA

Tabla 4.10: Criterios de evaluación del impacto ambiental.

	DESCRIPCIÓN	GRADO DE EVALUACIÓN		DESCRIPCIÓN
NATURALEZA (NA)	Se refiere al carácter beneficioso o perjudicial de las acciones que van a actuar sobre los factores ambientales considerados.	Positivo (+)		Cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, físico y socioeconómico, que sea beneficioso.
		Negativo(-)		Cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, físico y socioeconómico, que sea adverso.
ACCIÓN (AC)	Tipo de acción que genera el cambio.	Directa	2	La actividad que genera el impacto ambiental es ejecutada directamente por las actividades realizadas por el proceso.
		Indirecta	1	La actividad que genera el impacto ambiental es ejecutada por un proceso interno o externo que está relacionado directamente con el proceso.
ALCANCE (AL)	Se refiere al área de influencia del impacto en relación con el entorno donde se genera	Puntual	1	El Impacto queda confinado dentro del área donde se genera.
		Local	2	Trasciende los límites del área de influencia.
		Regional	4	Cuyo efecto se presenta de manera

				generalizada en el entorno considerado.
FRECUENCIA (FR)	Se refiere a la periodicidad con la que se puede llegar a presentar dicho impacto en un periodo de tiempo.	No ha ocurrido	1	Cuando el Impacto no se presenta
		Anual	2	Cuando el Impacto se presenta de forma repetitiva a lo largo del año
		Mensual	4	Cuando el Impacto se presenta mensualmente.
		Muy Frecuente	8	Cuando el Impacto es persistente
MAGNITUD (MG)	Se refiere al grado de la modificación que se prevé sobre la variable ambiental considerada, teniendo en cuenta el estado en que se encuentra antes de producirse la actividad impactante.	Alta	4	Si el evento puede perturbar o transformar radicalmente las características o estado del elemento.
		Moderada	2	Cuando el evento perturbador puede generar cambios evidentes en el elemento.
		Baja	1	Si el evento perturbador puede generar cambios parciales apenas perceptibles en el elemento.
IMPORTANCIA DEL IMPACTO	Hace referencia a la importancia del efecto de una acción sobre un factor ambiental y, es representada por un número que se deduce en función de los valores asignados a los parámetros de evaluación, según la siguiente ecuación:	$I = AC + AL + FR + MG$		

Fuente: Modelo de la Corporación Autónoma del Guavio “ Comprometidos por la Naturaleza”-Sistema Integrado de Gestión y Control - “SIGYCO” (2015-colombia)

4.4.2. IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL POR EL PARÁMETRO DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN Y CONTROL - “SIGYCO”- COLOMBIA

Los valores de Importancia del Impacto varían entre 4 y 18, y se clasifican así:

Tabla 4.11: Valores de importancia del impacto ambiental.

RANGO DE VALORES	IMPORTANCIA	DEFINICIÓN
$I < 8$	Irrelevante	Es cuando se requiere implementar medidas de tipo preventivo, es decir, las acciones encaminadas a evitar los impactos y efectos negativos que la ejecución de las actividades de los procesos puedan generar sobre el medio ambiente.
$9 < I < 12$	Moderada	Es cuando se requiere implementar medidas de mitigación, es decir, acciones dirigidas a minimizar los impactos y efectos negativos generados por la ejecución de las actividades de los procesos sobre el medio ambiente.
$13 < I < 16$	Severa	Es cuando se requiere implementar medidas de corrección, es decir, las acciones dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del medio ambiente afectado por la ejecución de las actividades de cada proceso.
$I > 17$	Crítica	Es cuando se requiere implementar medidas de compensación, es decir, acciones dirigidas a resarcir y retribuir a las comunidades, las regiones, localidades y al entorno natural por los impactos o efectos negativos generados por la ejecución de las actividades de cada proceso, que no puedan ser evitados, corregidos, mitigados o sustituidos.

Fuente: Modelo de la Corporación Autónoma del Guavio “ Comprometidos por la Naturaleza”-Sistema Integrado de Gestión y Control -“SIGYCO” (2015-colombia)

4.4.3. EVALUACIÓN EN LA MATRIZ DE VALORACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES

Tabla 4.12. .Matriz de identificación y valoración de aspectos e impactos ambientales

ACTIVIDAD	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL: (Positivo y Negativo)	VALORACION DEL IMPACTO													
			ACCIÓN		ALCANCE			FRECUENCIA			MAGNITUD			IMPORTANCIA DEL		
			Directa	Indirecta	Puntual	Local	Regional	No ha ocurrido	Anual	Mensual	Muy frecuente	Alta	Moderada	Baja	Valor	Importancia
Cancha de acumulación de residuos desmonte producto de la combustión incompleta	Polvo	(-)	2		1								2		9	Moderada
		Contaminación al aire														
		(-)	2			2				8		1	13	Severa		
		Afecta a la persona														
	Generación de residuos solidos	(-)	2			2				8	2			14	Severa	
		Contaminación del suelo														
		(-)		1		2		1		4		8	Irrelevante			
		Contaminación del Agua														

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN:

a) TRATAMIENTO 01 y 02:

Valoración del impacto ambiental y su control:

- La importancia del impacto al aire por el polvo es moderada, con un valor de 09.

Control: Regar el polvo con agua, tapar los residuos con plástico o yute.

- El impacto a la salud de la persona por el polvo es severa, con un valor de 13.

Control: En la exposición al polvo el personal debe usar respiradores con filtros.

- El impacto por la contaminación al suelo por la acumulación de residuos de desmonte es severa , con un valor de 14.

Control: Enterrar los residuos de desmonte y hacer la revegetación con plantas.

- El impacto por la contaminación al agua por la acumulación de residuos es irrelevante, con un valor de 08.

Control: Desviar los drenajes de la lluvia mediante cunetas, enterrar con capas de tierra para evitar la oxidación del carbón.

b) TRATAMIENTO 03:

- No hay impacto ambiental por generación de residuos de desmonte.

4.5. ANÁLISIS DEL TAMAÑO ÓPTIMO DE ANTRACITA EN LA COMBUSTIÓN DE LA PIEDRA CALIZA

4.5. Tabla N° 4.13: Resumen estadístico de análisis de antracita en tamaño óptimo.

		GRAMOS	VOLUMEN	CM	PULGADAS
N	Válidos	86	86	86	86
	Perdidos	0	0	0	0
Media		59,88	44,66	4,96	1,95
	Error típ. de la media	2,11	1,57	.055	.021
	Mediana	59,00	44,01	4,99	1,96
	Moda	46,00 ^a	34,31 ^a	4,60 ^a	1,81 ^a
	Desv. típ.	19,56	14,59	.51	.20
	Varianza	382,88	213,004	,264	,041
	Asimetría	1,36	1,366	,606	,605
	Error típ. de asimetría	,260	,260	,260	,260
	Curtosis	2,930	2,930	,865	,862
	Error típ. de curtosis	,514	,514	,514	,514
	Rango	108,00	80,56	2,67	1,05
Mínim o		29.00	21.63	3.94	1.55
Máxim o		137.00	102.19	6.61	2.60
Percentiles	10	39.	29.09	4.34	1.71
	20	45.	33.56	4.56	1.79
	25	46	34.31	4.59	1.80
	30	47.	35.13	4.63	1.82
	40	52.	39.38	4.81	1.89
	50	59.	44.01	4.99	1.96
	60	62.	46.39	5.08	2.00
	70	66.	49.23	5.18	2.04
	75	67.	50.15	5.21	2.05
	80	68.	51.17	5.25	2.06
	90	84.	62.80	5.62	2.21

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.14: Frecuencias de la masa en gramos de Antracita:

Gramos	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
29.00	1	1,2	1,2	1,2
30.00	1	1,2	1,2	2,3
32.00	2	2,3	2,3	4,7
35.00	2	2,3	2,3	7,0
37.00	1	1,2	1,2	8,1
39.00	2	2,3	2,3	10,5
41.00	3	3,5	3,5	14,0
43.00	2	2,3	2,3	16,3
44.00	2	2,3	2,3	18,6
45.00	2	2,3	2,3	20,9
46.00	4	4,7	4,7	25,6
47.00	4	4,7	4,7	30,2
48.00	4	4,7	4,7	34,9
49.00	1	1,2	1,2	36,0
51.00	1	1,2	1,2	37,2
52.00	2	2,3	2,3	39,5
53.00	1	1,2	1,2	40,7
54.00	2	2,3	2,3	43,0
55.00	1	1,2	1,2	44,2
56.00	3	3,5	3,5	47,7
57.00	1	1,2	1,2	48,8
59.00	2	2,3	2,3	51,2
60.00	1	1,2	1,2	52,3
61.00	4	4,7	4,7	57,0
62.00	3	3,5	3,5	60,5
63.00	3	3,5	3,5	64,0
64.00	1	1,2	1,2	65,1
65.00	2	2,3	2,3	67,4
66.00	3	3,5	3,5	70,9
67.00	4	4,7	4,7	75,6
68.00	4	4,7	4,7	80,2
69.00	1	1,2	1,2	81,4
71.00	3	3,5	3,5	84,9
72.00	1	1,2	1,2	86,0
76.00	1	1,2	1,2	87,2
78.00	1	1,2	1,2	88,4
83.00	2	2,3	2,3	90,7
87.00	1	1,2	1,2	91,9
93.00	1	1,2	1,2	93,0
96.00	1	1,2	1,2	94,2
99.00	1	1,2	1,2	95,3
101.00	1	1,2	1,2	96,5
109.00	1	1,2	1,2	97,7
121.00	1	1,2	1,2	98,8
137.00	1	1,2	1,2	100,0
Total	86	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 4.15: Frecuencias de la masa en volumen (cm3) de Antracita:

Cm3	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
21.63	1	1,2	1,2	1,2
22.38	1	1,2	1,2	2,3
23.87	2	2,3	2,3	4,7
26.11	2	2,3	2,3	7,0
27.60	1	1,2	1,2	8,1
29.09	2	2,3	2,3	10,5
30.58	3	3,5	3,5	14,0
32.07	2	2,3	2,3	16,3
32.82	2	2,3	2,3	18,6
33.56	2	2,3	2,3	20,9
34.31	4	4,7	4,7	25,6
35.06	4	4,7	4,7	30,2
35.80	4	4,7	4,7	34,9
36.55	1	1,2	1,2	36,0
38.04	1	1,2	1,2	37,2
38.79	2	2,3	2,3	39,5
39.53	1	1,2	1,2	40,7
40.28	2	2,3	2,3	43,0
41.02	1	1,2	1,2	44,2
41.77	3	3,5	3,5	47,7
42.52	1	1,2	1,2	48,8
44.01	2	2,3	2,3	51,2
44.75	1	1,2	1,2	52,3
45.50	4	4,7	4,7	57,0
46.24	3	3,5	3,5	60,5
46.99	3	3,5	3,5	64,0
47.74	1	1,2	1,2	65,1
48.48	2	2,3	2,3	67,4
49.23	3	3,5	3,5	70,9
49.97	4	4,7	4,7	75,6
50.72	4	4,7	4,7	80,2
51.47	1	1,2	1,2	81,4
52.96	3	3,5	3,5	84,9
53.70	1	1,2	1,2	86,0
56.69	1	1,2	1,2	87,2
58.18	1	1,2	1,2	88,4
61.91	2	2,3	2,3	90,7
64.89	1	1,2	1,2	91,9
69.37	1	1,2	1,2	93,0
71.60	1	1,2	1,2	94,2
73.84	1	1,2	1,2	95,3
75.33	1	1,2	1,2	96,5
81.30	1	1,2	1,2	97,7
90.25	1	1,2	1,2	98,8
102.19	1	1,2	1,2	100,0
Total	86	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.16: Frecuencias de diámetro en cm de Antracita

Cm	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
3.94	1	1,2	1,2	1,2
3.99	1	1,2	1,2	2,3
4.07	2	2,3	2,3	4,7
4.20	2	2,3	2,3	7,0
4.27	1	1,2	1,2	8,1
4.35	2	2,3	2,3	10,5
4.42	3	3,5	3,5	14,0
4.49	2	2,3	2,3	16,3
4.53	2	2,3	2,3	18,6
4.56	2	2,3	2,3	20,9
4.60	4	4,7	4,7	25,6
4.63	4	4,7	4,7	30,2
4.66	4	4,7	4,7	34,9
4.69	1	1,2	1,2	36,0
4.76	1	1,2	1,2	37,2
4.79	2	2,3	2,3	39,5
4.82	1	1,2	1,2	40,7
4.85	2	2,3	2,3	43,0
4.88	1	1,2	1,2	44,2
4.91	3	3,5	3,5	47,7
4.94	1	1,2	1,2	48,8
4.99	2	2,3	2,3	51,2
5.02	1	1,2	1,2	52,3
5.05	4	4,7	4,7	57,0
5.08	3	3,5	3,5	60,5
5.10	3	3,5	3,5	64,0
5.13	1	1,2	1,2	65,1
5.16	2	2,3	2,3	67,4
5.18	3	3,5	3,5	70,9
5.21	4	4,7	4,7	75,6
5.24	4	4,7	4,7	80,2
5.26	1	1,2	1,2	81,4
5.31	3	3,5	3,5	84,9
5.34	1	1,2	1,2	86,0
5.43	1	1,2	1,2	87,2
5.48	1	1,2	1,2	88,4
5.60	2	2,3	2,3	90,7
5.68	1	1,2	1,2	91,9
5.81	1	1,2	1,2	93,0
5.87	1	1,2	1,2	94,2
5.93	1	1,2	1,2	95,3
5.97	1	1,2	1,2	96,5
6.13	1	1,2	1,2	97,7
6.34	1	1,2	1,2	98,8
6.61	1	1,2	1,2	100,0
Total	86	100,0	100,0	

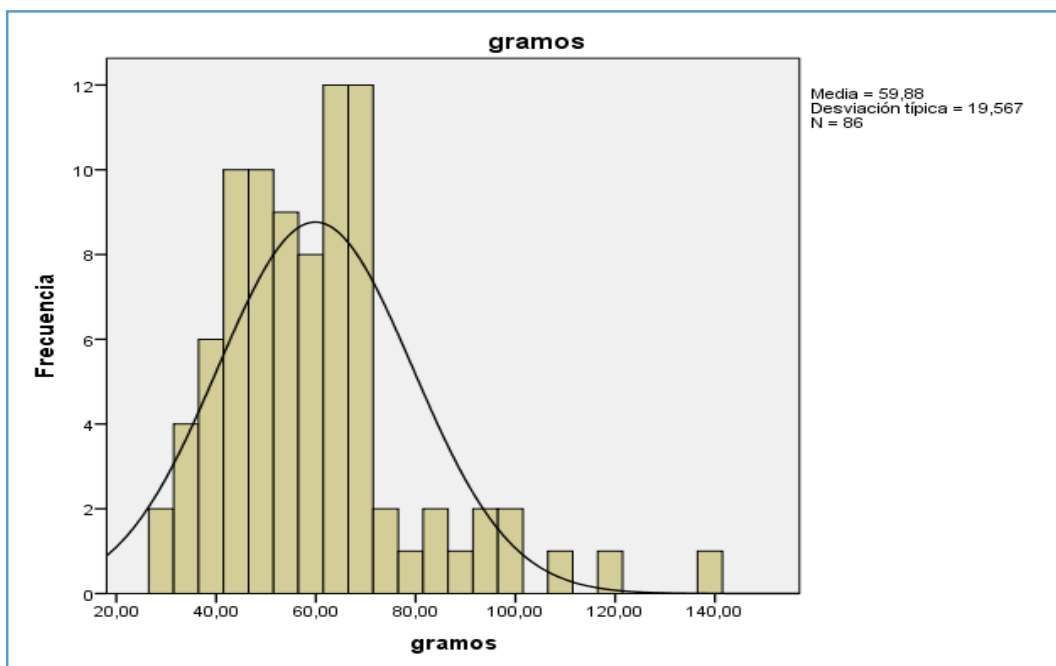
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.17: Frecuencia en pulgadas de diámetro de Antracita

Pulgadas	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
1.55	1	1,2	1,2	1,2
1.57	1	1,2	1,2	2,3
1.60	2	2,3	2,3	4,7
1.65	2	2,3	2,3	7,0
1.68	1	1,2	1,2	8,1
1.71	2	2,3	2,3	10,5
1.74	3	3,5	3,5	14,0
1.77	2	2,3	2,3	16,3
1.78	2	2,3	2,3	18,6
1.80	2	2,3	2,3	20,9
1.81	4	4,7	4,7	25,6
1.82	4	4,7	4,7	30,2
1.84	4	4,7	4,7	34,9
1.85	1	1,2	1,2	36,0
1.87	1	1,2	1,2	37,2
1.89	2	2,3	2,3	39,5
1.90	1	1,2	1,2	40,7
1.91	2	2,3	2,3	43,0
1.92	1	1,2	1,2	44,2
1.93	3	3,5	3,5	47,7
1.94	1	1,2	1,2	48,8
1.97	2	2,3	2,3	51,2
1.98	1	1,2	1,2	52,3
1.99	4	4,7	4,7	57,0
2.00	3	3,5	3,5	60,5
2.01	3	3,5	3,5	64,0
2.02	1	1,2	1,2	65,1
2.03	2	2,3	2,3	67,4
2.04	3	3,5	3,5	70,9
2.05	4	4,7	4,7	75,6
2.06	4	4,7	4,7	80,2
2.07	1	1,2	1,2	81,4
2.09	3	3,5	3,5	84,9
2.10	1	1,2	1,2	86,0
2.14	1	1,2	1,2	87,2
2.16	1	1,2	1,2	88,4
2.20	2	2,3	2,3	90,7
2.24	1	1,2	1,2	91,9
2.29	1	1,2	1,2	93,0
2.31	1	1,2	1,2	94,2
2.34	1	1,2	1,2	95,3
2.35	1	1,2	1,2	96,5
2.41	1	1,2	1,2	97,7
2.50	1	1,2	1,2	98,8
2.60	1	1,2	1,2	100,0
Total	86	100,0	100,0	

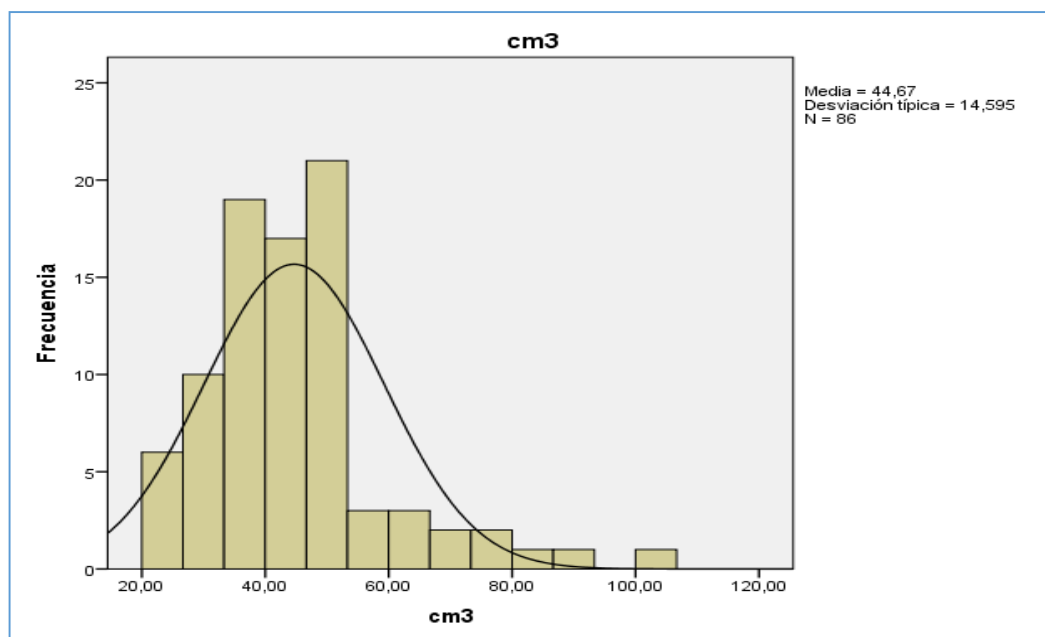
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Interpretación de la masa en gramos de Antracita



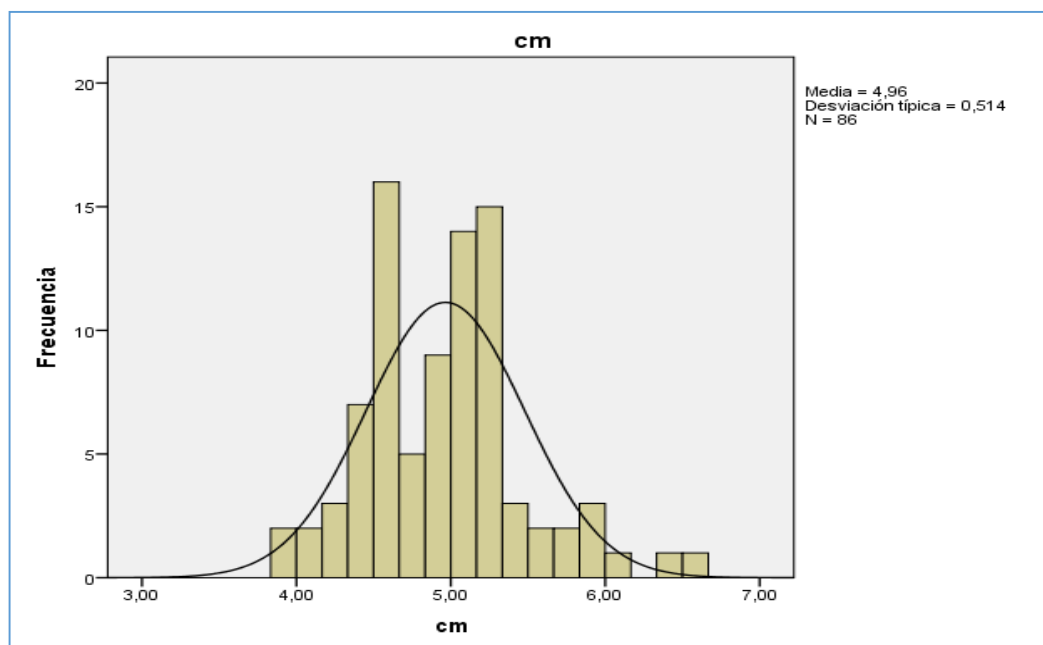
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Interpretación de la masa en volumen (cm³) de Antracita:



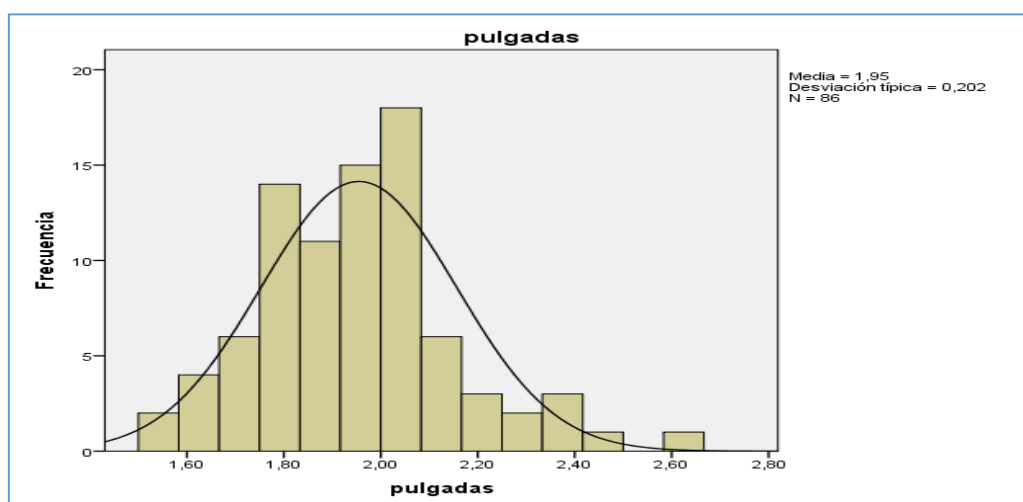
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3: Interpretación de la masa en diámetro (cm) de Antracita:



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Interpretación del diámetro de la masa en pulgadas de Antracita



Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN:

TAMAÑO ÓPTIMO DE ANTRACITA:

a. Tratamiento 01 y 02:

- Son tamaños no óptimos, hay pérdidas por generación de desmontes.

b. Tratamiento 03.

- En tamaño óptimo de antracita cuyos resultados más eficientes, en la combustión completa se ha notado con una masa de 29 gr, con volumen 21,63 cm³ ; con diámetros de 1,55 a 1,95 pulgadas y peso de la caliza a 2 kg con diámetro de 4" pulgadas.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA:

El tamaño óptimo de antracita optimiza la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay.

CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS:

1. Definición de hipótesis

$$H_0 < 1,5''$$

$$H_1 \geq 1,5''$$

2. Nivel de significancia

Nivel de significancia

$$\alpha = 5\% = 0,05$$

$$\alpha/2 = 0,025$$

3. Cálculo de estadístico de prueba

a.- Desviación estándar(S^2):

$$S^2 = \frac{(\sum X_m - X_o)}{\sqrt{n - 1}}$$

Tabla N° 4.18. Calculo de la desviación estándar.

N°	Øpulgadas	(Xm-Xo) ²						
1	1.909	0.003	31	1.551	0.167	61	1.741	0.048
2	2.288	0.107	32	2.412	0.204	62	1.920	0.002
3	1.769	0.036	33	1.652	0.095	63	2.203	0.059
4	1.897	0.004	34	2.203	0.059	64	2.061	0.010
5	1.741	0.048	35	2.009	0.002	65	1.809	0.023
6	2.157	0.039	36	1.885	0.006	66	2.051	0.008
7	1.835	0.016	37	1.966	0.000	67	1.998	0.001
8	1.822	0.019	38	2.061	0.010	68	2.030	0.005
9	2.237	0.077	39	2.351	0.153	69	2.020	0.004
10	1.809	0.023	40	1.796	0.027	70	1.683	0.077
11	1.966	0.000	41	2.603	0.413	71	2.009	0.002
12	1.712	0.061	42	2.497	0.289	72	1.988	0.001
13	1.652	0.095	43	2.139	0.032	73	1.835	0.016
14	1.603	0.127	44	2.061	0.010	74	1.932	0.001
15	1.741	0.048	45	2.336	0.141	75	1.998	0.001
16	1.569	0.153	46	1.796	0.027	76	2.041	0.006
17	1.712	0.061	47	2.071	0.012	77	2.051	0.008
18	1.988	0.001	48	2.312	0.124	78	2.051	0.008
19	2.061	0.010	49	1.998	0.001	79	1.835	0.016
20	2.030	0.005	50	1.943	0.000	80	2.009	0.002
21	1.885	0.006	51	1.977	0.000	81	1.988	0.001
22	1.932	0.001	52	1.809	0.023	82	1.835	0.016
23	2.101	0.020	53	1.769	0.036	83	1.848	0.013
24	2.091	0.017	54	1.822	0.019	84	1.783	0.031
25	1.873	0.008	55	1.603	0.127	85	1.822	0.019
26	2.051	0.008	56	2.091	0.017	86	2.041	0.006
27	2.091	0.017	57	1.932	0.001	Total		3.476
28	1.809	0.023	58	1.909	0.003	Xm		1,95
29	1.783	0.031	59	1.988	0.001			
30	2.041	0.006	60	1.822	0.019			

Fuente: Elaboración propia

$$S^2 = \frac{(Xm-Xo)^2}{\sqrt{n-1}} = \frac{(3.476)^2}{\sqrt{86-1}}$$

$$S = 0,202$$

b.- Estadístico de prueba

$$t = \frac{\bar{X}_m - X_0}{\sigma / \sqrt{n}} = \frac{(1,95 - 1,5)}{(0,202 / (\sqrt{86}))}$$
$$t = 20,85$$

4. Reglas de decisión.

$\alpha = 5\% = 0,05$ y grado de libertad $gl = n - 1 = 86 - 1 = 85$
 $t \geq 1,663$ se rechaza la H_0

5. Tomar la decisión.

- $t(20,85) > 1,663$ se acepta H_1 y se rechaza H_0
- Los tamaños de 1,5 a 1,95 pulgadas de diámetros son óptimos de la figura 4.4.
- En el experimento 03, el tamaño a 1,5" resulta optimo por lo tanto se acepta la hipótesis planteada.

CONCLUSIONES

- La investigación del análisis de tres tamaños de antracita producto de la combustión de la piedra caliza, determinó, que: El experimento 01 de quemada de la caliza en el horno con un diámetro de antracita de 4 pulgadas en un tiempo de 24 horas a una temperatura de 1000 °C nos dio una combustión mala, incompleta al 85,05 %; haciendo que el 15 % de caliza cargada al horno no se quemó totalmente; el experimento 02 con diámetro de antracita de 3 pulgadas, obtuvo una combustión regular de quemado de la caliza al 88,04 %, quedando incompleto la cocción de la caliza en 12 %; del mismo modo, el experimento 03 con un diámetro de antracita de 1,5 pulgadas, realizó una combustión completa(buena) de la caliza al 100 % , se llegó a determinar que en el horno de la minera industrial se procesa 8 750 Kg. de caliza por día con 1 440 Kg. de carbón antracita por día como combustible; por lo tanto al quemar con 4" de antracita se obtuvo 1 300 Kg. de calizas inquemados; con antracitas de 3" de diámetro se obtuvo 1 040 Kg. de calizas inquemados y con combustibles de antracitas de 1,5 a 1,95" de diámetro no se obtuvo residuos de calizas Inquemados, en medio ambiente no genera impacto ambiental por residuos de desmonte.
- Las pérdidas económicas que involucra el proceso por inquemados de calizas es 0,27 S/. por Kg. y 0,80 S/. por Kg. de carbón antracita inquemados.
La evaluación del estudio, medida con la Relación Beneficio Costo(R B/C), como indicador de rentabilidad que determina la viabilidad financiera del proyecto productivo, nos dio: Con antracita de 4" una R B/C= 0,94 que significa pérdida, con antracita de 3" una R B/C= 1,00 que también significa pérdida y con 1,5" de antracita se obtuvo una R B/C= 1,34; que significa ganancia, esta última significa que: Por cada sol invertido, dicho nuevo sol es recuperado y además se obtiene una ganancia extra de 0,34 nuevos soles.
- En consecuencia, el tercer tratamiento de quemado de la caliza en el horno industrial nos dio un tamaño óptimo de antracita que corresponde una masa de 29 gr., volumen 21,63 cm³; con diámetros de 1,55 pulgadas de antracita; mientras a la caliza le corresponde una masa de 2 Kg. Con diámetro de 4".

En función a los resultados de los experimentos obtenidos, donde el tratamiento de calcinación de la caliza practicada con antracitas de 1,5 pulgadas de diámetro, demuestra realizar una combustión total de las calizas, por lo tanto no genera ningún residuo de desmonte, lo que comprobada a través del experimento real observada, haciendo que dicha predicción supuesta se cumple; por lo tanto se acepta la hipótesis alterna planteada y se rechaza la hipótesis nula.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere implementar una chancadora para reducir la granulometría de antracita, a 1,5 pulgadas de diámetro, que permitirá minimizar los riesgos de exposición del personal.
- Se recomienda aplicar la ley General del Ambiente, ley 28611, para el monitoreo de emisión de los gases, límites máximos permisibles (LMP), Estándar de calidad ambiental del salud humano (ECASH).
- Se sugiere llevar un registro del suministro de carbón por día a fin de evitar pérdidas.
- Recomendamos implementar un sistema de pesaje de la materia prima y del producto obtenido para controlar la producción.
- Sugerimos mejorar el aislamiento térmico del horno con hormigón, especialmente reforzar la zona de calcinación con ladrillo refractario, para lograr el aumento de eficiencia del proceso de combustión.
- Recomendamos poner en práctica los resultados de la investigación en la unidad minera no metálica y difundir la alternativa tecnológica en beneficio de las pequeñas mineras caleras.
- Sugerimos proponer y desarrollar similares investigaciones que contribuyan a fortificar la consistencia técnica-científica.
- Se sugiere implementar medidas de seguridad para los trabajadores en el proceso de quemado de la cal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ABEL GONZALES, DULIO OSEDA, FELICISIMO RAMIREZ, JOSE**
L. GAVE. (2011), “¿Cómo aprender y enseñar investigación científica?”
Huancavelica - Perú: UNH
2. **ARIAS, F. (1999),** “El proyecto de investigación: guía para su elaboración”
Caracas: EPISTEME
3. **AJIACO CASTRO, FREDY S. (2011),** “Evaluación del comportamiento térmico de carbones del Cerrejón, carbones coquizantes y sus mezclas en la producción de coque metalúrgico “ - Bogotá, Colombia
4. **ARRIAZA BALMON, MANUEL (2016),** “ Guía práctica de análisis de datos“ Junta de Andalucía.
5. **ALAITZ ARIZTIMUÑO, FRANCISCO GONZALEZ ,ALICIA RISUEÑO (RECUPERADO 2015)** “El carbón como materia prima”
6. **CARRASCO DIAZ, S. (2012)** “Metodología de investigación científica”
Lima- Perú: Editorial san marcos E.I.R.L.
7. **CABALLERO ROMERO, ALEJANDRO E. (2011)** “Metodología integral innovadora para los planes y tesis”. Lima- Perú: Empresa Editora el Comercio S.A.
8. **CALDERON AGUILAR, CLAUDIA L., (2005)** “Estudio de pre-factibilidad económica para la utilización de carbón mineral en la fabricación de Cal viva “. Guatemala.
9. **CARRILLO , F. (1976)** “Como hacer la tesis y el trabajo de investigación universitario” Lima- Perú: Editorial Horizonte.
10. **CARPI VILAR, SEBASTIAN, (1965)** “Hornos verticales”
<http://materconstrucc.revistas.csic.es>. España.
11. **COLOMA ALVAREZ, G., (2008)** “La Cal: es un reactivo químico”
“Santiago de Chile.
12. **CEMENTOS BIO BIO** “Cementos, fabricación y clasificación”,
recuperado 2015.

- 13. CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO**
(2014) “Guía de apoyo para la notificación de la industria de la cal”. Andalucía
- 14. CASTILLO NEIRA, PERCY** (2011) “Optimización de la combustión en altura”.
Perú.
- 15. CELSO SUMA, JULIO GUTIÉRREZ, RODOLFO SUMA** (2008) **CONAM:**
“Estudio de definición de tipo de horno apropiado para el sector Ladrillero”. Cusco
- 16. CENGEL YUNUS, A.**(1996) “ Termodinámica.”, Tomoll., 2ª ed.,
México D.F.- McGraw-Hill.
- 17. D.S. 055-2010-EM,** “Reglamento de seguridad y salud ocupacional”
- 18. Diccionario Ilustrativo de la Lengua Española** (2005)
Lima-Perú: Editorial Navarrete
- 19. DIRECTIVA 96/61 RELATIVA A LA PREVENCIÓN Y CONTROL INTEGRADOS
DE LA CONTAMINACIÓN** “Fabricación de cal y derivados” España
- 20. DÁVILA DEL TORO, FABIOLA I.** (2009) “Desarrollo de una tecnología
refractaria basada en MgO-CaZrO_3 reforzado con hercinita para hornos
rotatorios de cemento” Nuevo León
- 21. EDISON R. MONTALUISA; HENRY G. TIPÁN,** (2008), Tesis “Diseño de un
horno para la producción de cal viva y cal hidratada de 120 toneladas de
producción diaria”
Quito-Ecuador
- 22. JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN** (2007) “Los minerales industriales en Castilla
y León” www.siemcalsa.com
- 23. FERNÁNDEZ NEIRA, ALEXANDER,** (2013) “Caracterización y determinación del
proceso para la producción de cal comercial a partir de la piedra caliza”. Madrid-
España.
- 24. HERNÁN ACEVEDO, ROCÍO GUERRA,** (2005) “Factibilidad técnica y económica
de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana”
Santiago -Chile
- 25. HERNANDEZ SAMPIERI, R.**(2006) “Metodología de investigación”
México: MC GRAW -HILL / Interamericana Editores S.A. DE C.V.

26. **HUAMAN GORA, J. W, (2013)** “Taller de investigación I”
Huancayo –Perú: Soluciones Gráficas SAC
27. **INSTITUTO MUNDIAL DEL CARBÓN, (REVISTA RECUPERADO 2015)** “El carbón como recurso ,una visión general del carbón”
28. **GAMALIEL, A.; MARTÍNEZ, O. (2006)**, Curso: “Seminario de investigación en educación I”. UCV. Escuela de Post Grado Filial Lima.
29. **GÁLVEZ BARRERA , HUGO A.,(2003)**“Evaluación del comportamiento De la piedra caliza con diferente contenido de carbonato de magnesio($MgCO_3$) a través del proceso de calcinación a $850^{\circ}C$ y 640 mm Hg en la obtención de cal viva mediante la determinación de la densidad aparente (ASTM 188-95)” Guatemala
30. **GRUPO GLORIA (2011)** “Proyecto Katawi Rumi”. Perú
31. **GONZÁLEZ GAVILÁNEZ, L. I. (2012)**, Tesis: “Optimización del proceso de combustión para el tratamiento de la caliza en la obtención de Cal y derivados de la Corporación los Nevados”. Riobamba – Ecuador
32. **MINISTERIO DEL AMBIENTE.,** “Texto unificado de legislación ambiental secundaria “TULAS., Libro VI., Anexo3., Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión. Ecuador.
33. **MOLINA ROBERTO (2010)**“Estadística Inferencial”, Universidad politécnica Salesiana de Ecuador., Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas.
34. **MAYOR, H.** “Química Tercer Grado de Secundaria “Lima- Perú:
Editorial Escuela Nueva S.A.
35. **MUÑOZ RAZO, CARLOS, (2011)** “Como Elaborar y Asesorar una Investigación de Tesis”. México: Ed. Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
36. **MONICA MARÍA FITATÁ, DEYA MARCELA SANTOS, (2014)** “Diseño de planta de cal” santos Bogotá-Colombia.
37. **NATIONAL LIMEASSOCIATION. (1976)**Chemical LimeFacts.Bulletin214, 4aed.Washington D.C.-USA.
38. **OCEANO DE LA LENGUA ESPAÑOLA** Editorial: Océano.

39. **PISCOYA HERMOSA, L., (1995).** “Investigación científica educacional “Lima-Perú: Editorial Mantaro.
40. **PERRY, R. (2006)**“Manual del Ingeniero Químico”, Tomo I, 6aed., México: Mc. Graw Hill., Pp.3-177,3-180
41. **WYLEN, V. (2007)** “Fundamentos de Termodinámica Solucionario”. Lima - Perú.: San Marcos E.I.R.L., ., Pp. 815-842
42. **MENDENHALL WILLIAM, J. BEAVER ROBERT, M. BEAVER BARBARA (2010)**“Introducción a La Probabilidad Y Estadística” , México : Cengage Learning Editores , S.A.
43. **REEDR...**” NorthAmericancombustionhandbook”,2ªed., OHIO-USA., North American Mfg.Co., 1978., Pp. 307-332
44. **SPIROPOULOS J., (1985).**”Producción de cal pequeña escala para construcción”, GATE/GTZ.
45. **TAFUR PORTILLA, R, (2012)**“La tesis universitaria “Lima- Perú: Editorial Mantaro.
46. **RAYMUNDO CASTILLO, B.(2010)** ” La hipótesis en investigación”www.eumed.net/rev/cccss/04/rcb2.htm
47. **Resolución Ministerial N° 102-2010-PRODUCE** del 19.04.2010 “Guía de buenas prácticas para Ladrilleras artesanales”
48. **TESTO (2010)** “Optimización de combustión”
49. **TEAM CONSULTING PERU - MINERA AURIFERA RETAMAS S.A. (2011)**
 “Identificación de peligros, evaluación y control de riesgos-IPERC”.
 “Investigación y reporte de incidentes.”
50. **SALAZAR CORDOVA, J. (2008)** “Guía de Proyectos de Investigación”. CONCYTEC-FENCYT, PERU.
51. **SEIJAS BERNABÉ, PRISCILLA A., (2012),** Tesis: “Biosecuestro de dióxido de carbono, procedente de gases de combustión, por arthrospirajenneri “espirulina” y su influencia en la producción de biomasa microalgal en fotobiorreactor solar”. Trujillo – Perú

52. S. JIMÉNEZ, (recuperado -2015) “Combustión de carbón”

www.energia2012España.

53. SUAREZ RIVERA, PABLO J., (1999) “Diseño de una planta de cal en el sector- casas viejas”. Guayaquil- Ecuador

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: "ESTUDIO DEL RENDIMIENTO DE TRES TAMAÑOS DE ANTRACITA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE COMBUSTIÓN DE LA PIEDRA CALIZA EN LA EMPRESA MINERA NO METÁLICA SIEMPRE VIVA S.A. U/P RUMICHACA - LIRCAY"

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	VARIABLES	DIMENSION	ESCALA DE CALIFICACION	INDICADORES	INSTRU- MENTO
PROBLEMA GENERAL: ¿Cómo Estudiar el rendimiento de tres tamaños de antracita para la optimización de combustión de la piedra caliza en la Empresa minera no metálica Siempre Viva S.A. - U/P Rumichaca - Lircay?	OBJETIVO GENERAL: Estudiar el rendimiento de tres tamaños de antracita para la optimización de combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay.	HIPÓTESIS GENERAL: H1: El estudio del rendimiento de tres tamaños de antracita optimiza la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. - U/P Rumichaca - Lircay Ho: El estudio del rendimiento de tres tamaños de antracita no optimiza la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. - U/P Rumichaca - Lircay	ÁMBITO DE ESTUDIO La empresa minera No Metálica Siempre Viva S.A. TIPO DE INVESTIGACIÓN Básica – Aplicada - Tecnológica NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo - Experimental.	VARIABLE DEPENDIENTE: Optimización Combustión de la piedra caliza VARIABLE INDEPENDIENTE: Rendimiento de tres tamaños de antracita	Grado de combustión Económicas	- Mala - Regular - Buena - Ganancias y pérdidas.	% de residuos Valoración en soles/ Kg.	Observación directa: Macroscópico Relación de beneficio y costo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS: ¿Cuál es el análisis económico de los residuos de desmonte del proceso de combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay? ¿Cuál es el tamaño óptimo de antracita en la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay?	OBJETIVO ESPECÍFICOS: Analizar económicamente los residuos de desmonte al final del proceso de combustión con el tamaño definido de antracita en la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay. Determinar el tamaño óptimo de antracita en la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay.	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS: Se optimiza económicamente los residuos de desmonte al final del proceso de combustión con el tamaño definido de antracita en la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay. El tamaño óptimo de antracita optimiza la combustión de la piedra caliza en la Empresa Minera no Metálica Siempre Viva S.A. U/P Rumichaca - Lircay.			Ambiental	- Impacto ambiental: - Positivo y negativo	Matriz de evaluación de impacto ambiental	Observación directa: Ficha de observación directa.

**ACTIVIDADES PRODUCTIVAS DE LA EMPRESA MINERA NO METALICA
SIEMPRE VIVA S.A. UNIDAD DE PRODUCCION RUMICHACA-LIRCAY-HVCA
EXTRACCIÓN: RESERVAS DE ROCAS SEDIMENTARIAS DE LA CALIZA.**



Formación de la roca caliza- Rumichaca. (Año 2006)



Planta de Cal-Rumichaca.

GRANULOMETRÍA DE LA CALIZA, TRANSPORTE Y ACARREO:



Vista General de la piedra caliza utilizada en la Producción de Cal Rumichaca.



Carguío de la caliza para la combustión.

COMBUSTIÓN:



Pilas de Carbón de Piedra



Reducción de tamaño del carbón de piedra Antracita.

HORNO VERTICAL CONVENCIONAL:



Vista en planta del horno



Carguío de carbón antracita al horno vertical

OBTENCIÓN DE LA CAL::



Enfriamiento y acopio de óxido de calcio.

PARTE EXPERIMENTAL:



Muestreo de la Caliza.

MUESTREO DE CARBÓN ANTRACITA:



Muestreo de carbón antracita por tamaños



Medición del peso de la muestra.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CAL VIVA

	Cal de calcio	Cal de magnesio
Óxido de Calcio,% min	75	
Óxido de magnesio,% min		20
Óxido de calcio y magnesio, % min	95	95
Sílice, alúmina y óxido de hierro, % máx.	5	5
Dióxido de carbono, % máx.:		
Si la muestra es tomada en el lugar de fabricación	3	3

Fuente: NTEINEN248: 2010 –Cal viva para propósitos estructurales

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE PARA FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN.

Norma para fuentes en operación a partir de enero de 2003

CONTAMINANTE EMITIDO	COMBUSTIBLE UTILIZADO	VALOR	UNIDADES ^[1]
Partículas Totales	Sólido	150	mg/Nm ³
	Líquido ^[2]	150	mg/Nm ³
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	850	mg/Nm ³
	Líquido ^[2]	550	mg/Nm ³
	Gaseoso	400	mg/Nm ³
Dióxido de Azufre	Sólido	1650	mg/Nm ³
	Líquido ^[2]	1650	mg/Nm ³
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable

Fuente: TULAS, Libro VI, Anexo3, Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión

[1] mg/Nm³: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, de mil trece milibares de presión (1 013mbar) ytemperaturade0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

[2] combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES GASEOSAS DE INCINERADORES DE DESECHOS PELIGROSOS

CONTAMINANTE	UNIDAD	LÍMITE DE EMISIÓN	RESULTADO CORREGIDO AL 7% O ₂
CO	mg/m ³	80	122,26
HCl	mg/m ³	50	76,4
NO _x	mg/m ³	560	855,68
SO ₂	mg/m ³	100	152,8
Partículas	mg/m ³	50	76,4
Arsénico, Selenio, Cobalto, Níquel, Telurio(1)	mg/m ³	2,0*	3,05
Cadmio y Talio(1)	mg/m ³	0,10*	0,15
Plomo, Antimonio, Cromo Total, Platino, Cobre, Vanadio, Zinc, Estaño, Manganeso, Paladio.(1)	mg/m ³	3,0*	4,58
Mercurio(1)	mg/m ³	0,10	0,15
Dioxinas y Furanos(1)	mg/m ³	10	15,28

Todos los valores están para condiciones estándar (atmósfera, base seca 25°C y 11% de O₂).

* Suma total de metales pesados

(1)Estos análisis se realizarán en casos de existir evidencias de daño ambiental y bajo pedido de la Entidad Ambiental de Control.

Fuente: Dirección Metropolitana del Medio ambiente

NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN mg/Nm ³	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	MÉTODO
HCl	10	Anual	Infrarrojo no dispersivo Analizador continuo; NIOSH 7903;EPA26A,13B;**
NOx	1400	Semestral y continuo	Quimioluminiscencia EPA7E; EPA7/7A/7C/7D; Res. Col. 03194/83; + Arsenito de sodio; Apéndice F parte 50*
NH ₃	30	Anual	EPACTM-027-1998
COVs	20(2)	Anual y continuo	GC-FID, EPA25A-2000
Benceno	5	Anual	NIOSH1501-2003
Partículas Totales o Material	80	Semestral y continuo	Isocinético
Sb, As, Ni, Mn, Pb, Cr, V, Co, Cu	0,8(3)	Anual	Espectrometría de absorción atómica o equivalente
Cd, Tl	0,08	Anual	
Hg	0,08	Anual	
Dioxinas y Furanosng TEQ/m ³	0,2	Anual	VDI 3499 parte 2 de Alemania, 1948-2/3 de la Comunidad Económica Europea EPA23,23 ^a (Muestreo), 8280Ay8290(Análisis

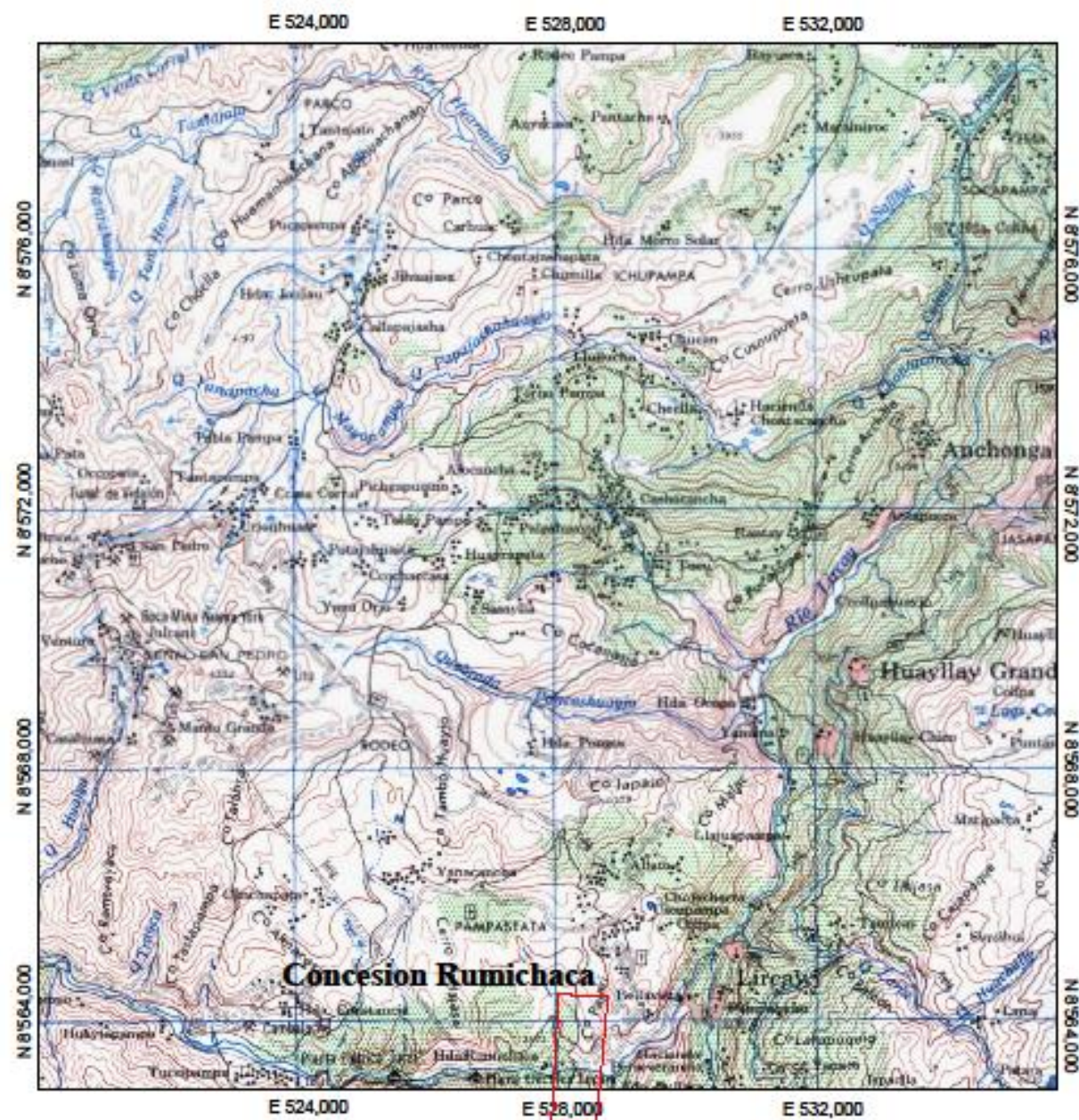
(1) Condiciones normales, base seca, corregido
al 7% de oxígeno (O₂) en volumen. (2) Sobre la línea
base (Medición con combustible fósil)

(3) Suma total de metales

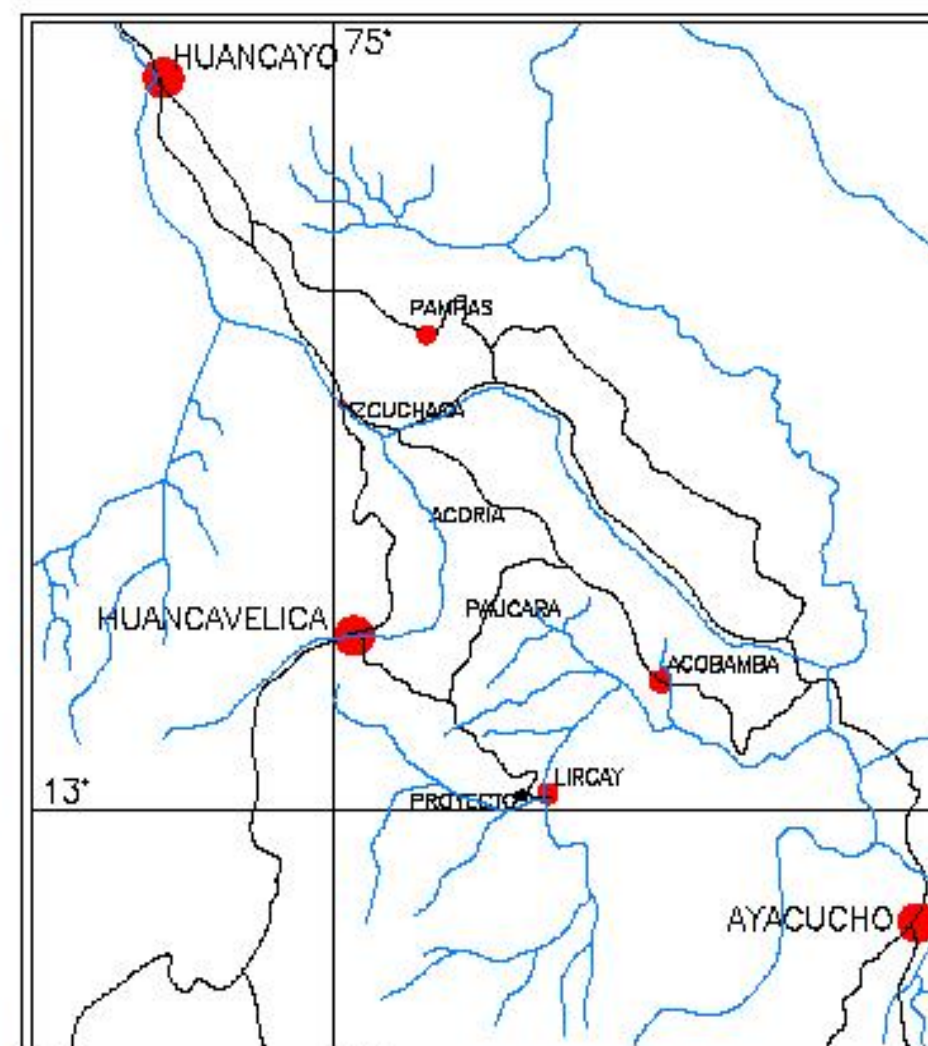
(*) of National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards-USEPA NAAQS

(**) Los instrumentos utilizados en el método de sensores electroquímicos (no métodos
equivalente o de referencia) deberán ser calibrados de acuerdo a método EPA establecido.

Fuente: Acuerdo 048- Expedido por el Ministerio del Medio Ambiente-Límites de emisión para
empresas cementeras.



ESCALA: 1 / 100,000



ESCALA: 1 / 1'000,000

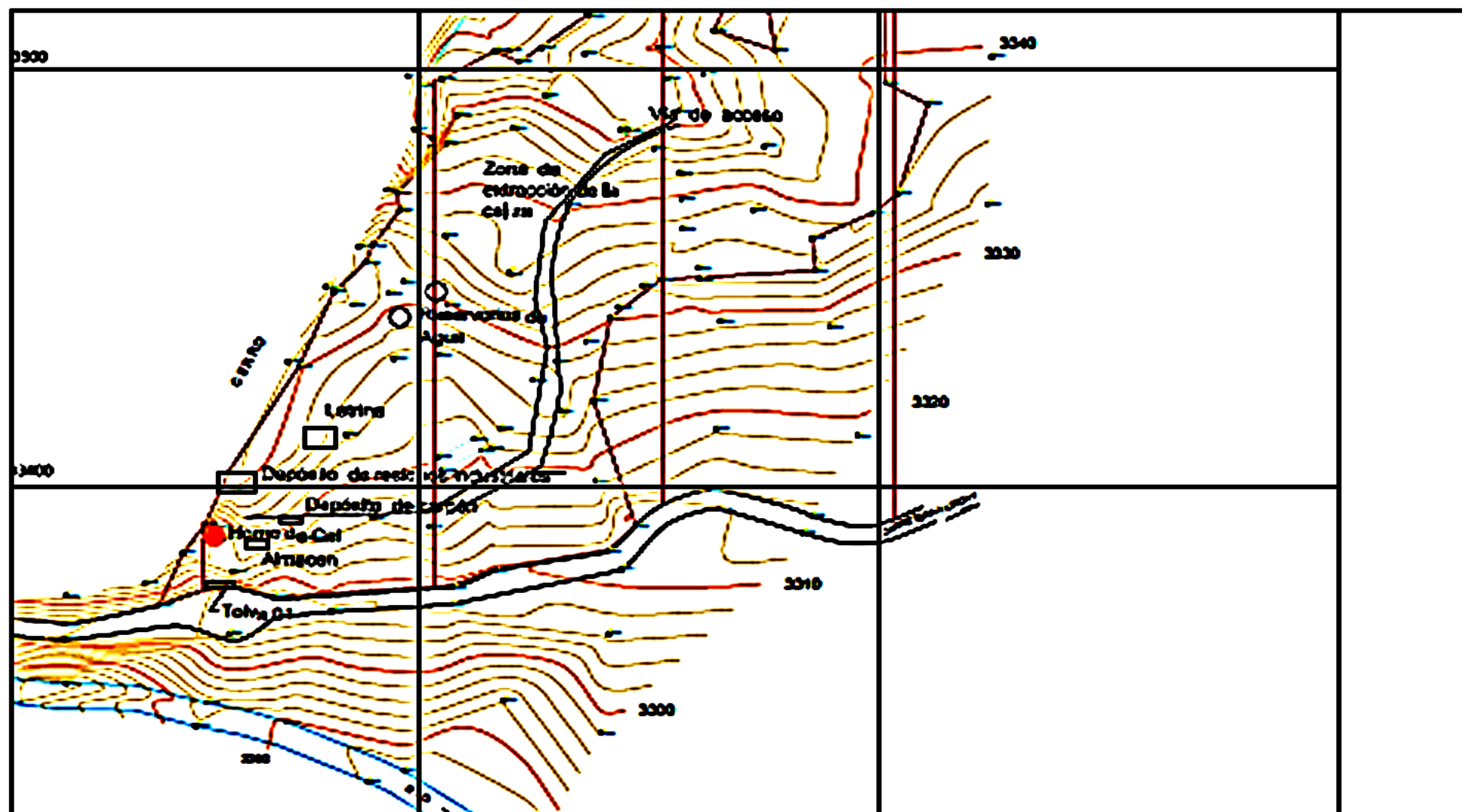


EMPRESA MINERA NO METÁLICA SIEMPRE VIVA S.A.

PLANO:

LOCALIZACIÓN

LUGAR: RUMICHACA	DISTRITO: LIRCAY	PROVINCIA: ANGARAES	LAMINA Nº
ESCALA: INDICADA	DESIJO: M.Q.R.	DESIJO: LOCALIZACION	01
FECHA: MARZO 2016	REVISADO: ING. L.Q.A.	APROBADO: ING. L.Q.A.	

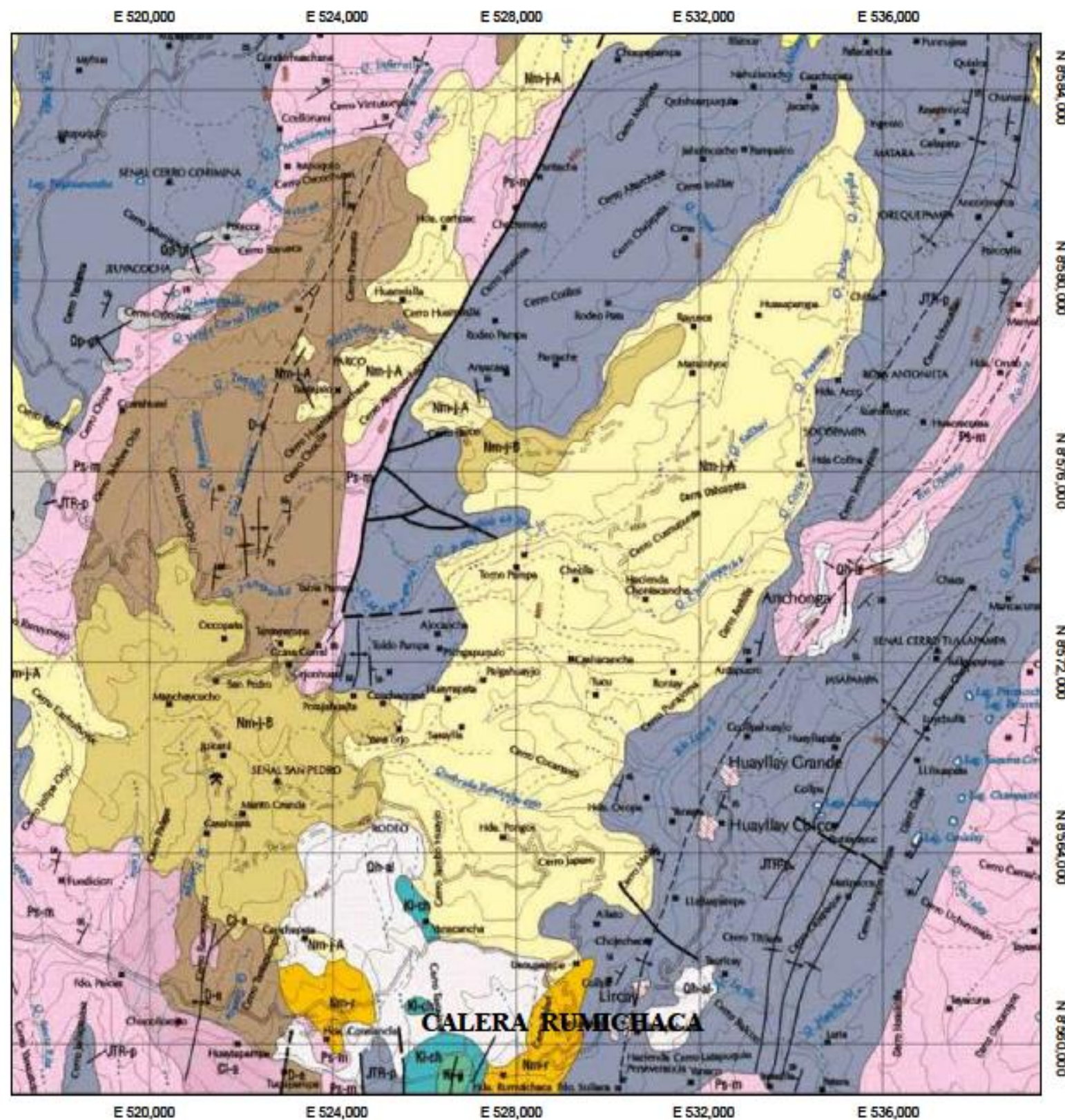


EMPRESA MINERA NO METÁLICA SIEMPRE VIVA S.A.

PLANO:

UBICACIÓN

LUGAR: RUMICHACA	DISTRITO: LIRCAY	PROVINCIA: ANGARAES	LAMINA N° 02
ESCALA: INDICADA	DISEÑO: M.Q.N.	DISEÑO: UBICACIÓN	
FECHA: MARZO 2016	REVISADO: ING. L.Q.A.	APROBADO: ING. L.Q.A.	



ESCALA: 1 / 100,000

LEYENDA

ERATENA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS	ROCAS IGNEAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	ALUVIAL	Depositos Aluviales	Dh-a	
		FLUVIAL	Torresales, Desfiladeros	Dh-f	
		FLUVIAL	Dep. Glacifluviales	Dh-g	
	NEOGENO	FLUVIAL	Fm. Chontayco	Nm-rh	Nm-hu-b
			Fm. Huancabamba	Nm-hu-A	
			Fm. Huancabamba	Nm-o	
		MARINO	Fm. Mla. Barbara	Nm-ab-A	Nm-ab-b
			Fm. Aucabamba	Nm-a	
			Fm. Huancabamba	Nm-b	
			Fm. Jumbay	Nm-l-A	Nm-l-B
			Fm. Chacabamba	Nm-c	
			Fm. Huancabamba	Nm-r	
			Fm. Tumbay	Fm	
PALEOGENO	OLIGOCENO	Fm. Casapalca	KP-c	Nm-dub	
	PALEOGENO	Fm. OCHO	Ni-ch	Nm-mu	
MESOZOICO	CRETACEO	PALEOGENO	Fm. Chayabamba	Ki-chu	KP-tp
		PALEOGENO	Grupo Geyllanapaga	Pl-g	KP-a
			Fm. Chontayco	Jm-ch	
	JURASICO	PALEOGENO	Grupo Pucall	JTh-g	
		PALEOGENO	Grupo Mla	Pg-m	PT-gr
		PALEOGENO	Grupo Tumbay	DP-t	
	TRIASICO	PALEOGENO	Grupo Tumbay	DP-t	
		PALEOGENO	Grupo Tumbay	DP-t	
		PALEOGENO	Grupo Tumbay	DP-t	
	PERMIANO	PALEOGENO	Grupo Tumbay	DP-t	
PALEOGENO		Grupo Tumbay	DP-t		
PALEOGENO		Grupo Tumbay	DP-t		
CARBONIFERO	PALEOGENO	Grupo Tumbay	DP-t		
	PALEOGENO	Grupo Tumbay	DP-t		
DEVORIANO	PALEOGENO	Grupo Tumbay	DP-t		
	PALEOGENO	Grupo Tumbay	DP-t		

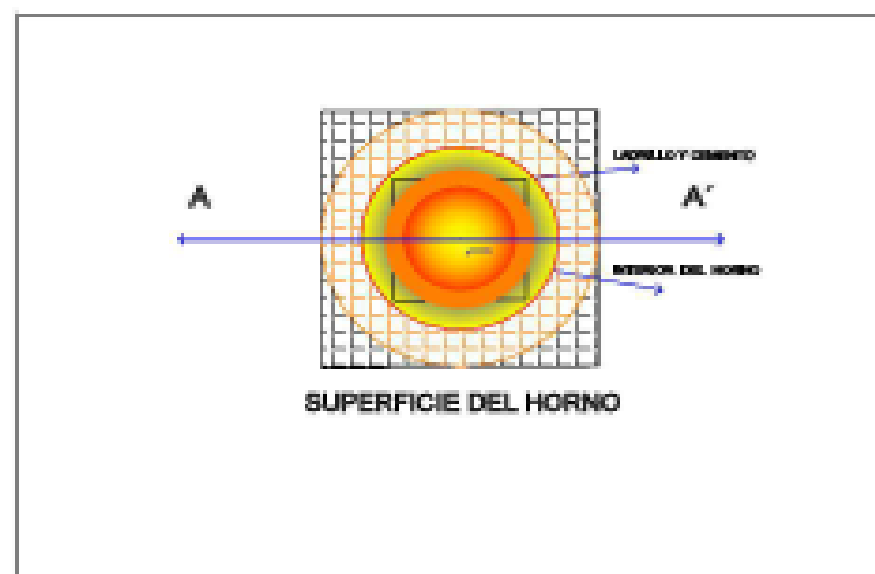
EMPRESA MINERA NO METÁLICA SIEMPRE VIVA S.A.

PLANO:

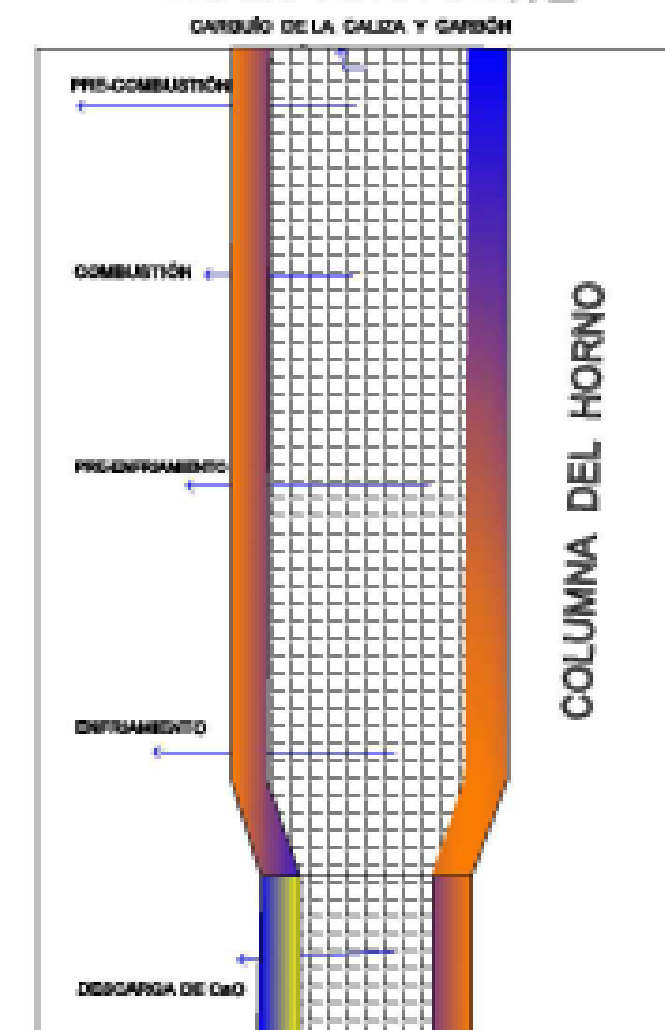
GEOLOGICO: 26-n

LUGAR: RUMICHACA	DISTRITO: LIRCAY	PROVINCIA: ANGARAES	LAMINA N°
ESCALA: INDICADA	DISEÑO: M.Q.R.	DISEÑO: PLANO GEOLOGICO	03
FECHA: MARZO 2018	REVISADO: ING. L.Q.A.	APROBADO: ING. L.Q.A.	

VISTA EN PLANTA



VISTA EN FRENTE



EMPRESA MINERA NO METÁLICA SIEMPRE VIVA S.A.

PLANO:

DISEÑO DEL HORNO VERTICAL CONVENCIONAL

LUGAR: CALERA RUMICHACA	DISTRITO: LIRCAY	PROVINCIA: ANGARAES	LAMINA N°
ESCALA: 1:500	DIBUJO: M.Q.R.	DISEÑO: HORNO	04
FECHA: MARZO 2016	REVISADO: ING. L.Q.A.	APROBADO: ING. L.Q.A.	

