



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE LAS CALIZAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL VIVA EN LA CALERA LA CONGA DEL CASERÍO DE SOGORÓN ALTO DISTRITO DE LA ENCAÑADA, CAJAMARCA 2017”

Trabajo de investigación para optar el grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autor:

Marco Antonio Culqui Romero

Asesor:

Ing. Roberto Gonzales Yana

Cajamarca – Perú

2017

Resumen

En el presente proyecto de investigación titulado "INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE LAS CALIZAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL VIVA EN LA CALERA LA CONGA DEL CASERÍO DE SOGORÓN ALTO DISTRITO DE LA ENCAÑADA, CAJAMARCA 2017", se realizaron estudios para evaluar la calidad de las calizas dentro del área de estudio CALERA LA CONGA, con fines de producir cal viva; mediante el mapeo geológico, muestreo de calizas dentro del área de interés, análisis gravimétrico de calizas.

Las calizas de la CALERA LA CONGA requieren un estudio geoquímico para determinar su calidad. Esta área de estudio está ubicada en el caserío de Sogorón Alto, distrito de La Encañada, provincia de Cajamarca y departamento de Cajamarca; esta ubicación presenta numerosas ventajas desde el punto de vista económico, como es la proximidad a las distintas unidades mineras.

Para esta evaluación se realizó una investigación experimental con diseño transversal, descriptivo y aplicativo; a las 02 muestras de roca caliza; llegando a concluir que; de acuerdo a los resultados de laboratorios la presencia de CaCO_3 en la roca caliza está entre el 92.2 a 95.64%; y que las impurezas presentes en el la roca caliza entre 4.36 a 7.8%, lo cual hace de esto una buena materia prima para la obtención de cal viva.

Abstract

In the present research project entitled "INFLUENCE OF QUALITY OF LIMES FOR THE PRODUCTION OF LIVE LIMES IN LA CALERA LA CONGA DEL CASERÍO DE SOGORÓN ALTO DISTRITO DE LA ENCAÑADA, CAJAMARCA 2017" studies were carried out to evaluate the quality of the limestone within the study area CALERA LA CONGA, in order to produce quicklime; through geological mapping, sampling of limestone within the area of interest, gravimetric analysis of limestones.

The limestones of the LA CALERA LA CONGA require a geochemical study to determine their quality. This study area is located in the village Sogorón Alto, La Encañada district, province of Cajamarca and Cajamarca department; this location presents numerous advantages from the economic point of view, as is the proximity to the different mining units.

For this evaluation will be realized the experimental research with transversal design, descriptive and application; at 02 samples of limestone; arriving to conclude that, according to the results of laboratories the presence of CaCO_3 in the limestone rock is between the 92.2 to 95.64%; and that the impurities present in the limestone rock between 4.36 to 7.8%, which makes this a good raw material for the production of quicklime.

TABLA DE CONTENIDOS

Carátula	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Tabla de contenidos	v
Índice de tablas y figuras	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	7
I.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	7
I.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	7
<i>I.2.1. PROBLEMA GENERAL</i>	7
<i>I.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS</i>	7
I.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	8
<i>I.3.1. OBJETIVO GENERAL</i>	8
<i>I.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	8
I.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	8
<i>I.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA</i>	8
<i>I.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA</i>	8
I.5. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	8
II. MARCO TEÓRICO	9
II.1. ANTECEDENTES	9
II.2. BASES TEÓRICAS.....	9
III. HIPÓTESIS.....	22
III.1. DECLARACIÓN DE HIPÓTESIS.....	22
III.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	22
III.3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN	22
IV. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS.....	23
V. RESULTADOS	26
VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	27

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Depositos calcareos	10
Cuadro 2 Características físico químicas de las calizas	11
Cuadro 3 Valores de presión para el CO ₂	11
Cuadro 4 Clasificación de productos hidráulicos	18
Cuadro 5 Composición química cal hidráulica	19

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Calcinación de la cal	16
Figura 2 Temperatura de calcinación vs área superficial de partícula	16

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Internacionalmente la cal es un material que ha sido utilizado por diversas culturas desde tiempos ancestrales, aparece en diversas industrias como lo son la metalúrgica, peletera, textil, papelera y se usa para procesos de purificación de aguas, tratamiento de basura, tratamiento de gases contaminantes, entre otras; he ahí la importancia de su calidad.

La minería es actualmente el sector que más desarrollo ha tenido en el Perú como consecuencia del alto precio de los minerales en el mercado mundial. Dentro de estas industrias destaca como materia prima principal la piedra caliza que se utiliza principalmente para elaborar cal y cemento que conocemos.

La caliza en el Perú actualmente es el producto minero no metálico de mayor volumen de producción con más 7 252 293 TM, registrado en el año 2015, y representando un 53,49% del total de producción minera no metálica. Seguido por el hormigón con un 13%.

En Cajamarca, adicionalmente de los metales, se cuenta con recursos no metálicos, como caliza, sílice y caolín, con buenas perspectivas de exploración y explotación, siendo la más importante, las calizas que sirve de materia prima para la cal y cemento. El auge minero exploratorio ha significado la presencia de 32 empresas dedicadas a la producción de cal, que vienen trabajando en aproximadamente 700 mil hectáreas denunciadas, según datos del BCR; es por ello que la empresa MULTISERVICIOS JOSAN SRL se encuentra en búsqueda de la mejor calidad de cal viva, para brindar el mejor producto en la región, para ello se muestreara y analizara las calizas de la Calera "La Conga" del Caserío de Sogorón Alto, del Distrito de la Encañada, Provincia de Cajamarca, para determinar su calidad y producir cal viva.

De no tener un análisis de calidad de calizas, el aprovechamiento del mineral se realizara en forma general y no específica, obteniendo una ley baja y dificultando las operaciones técnicas de minería, además de la afectación económica. La razón de este requerimiento es principalmente es producir cal viva de buena ley.

1.2. Pregunta de investigación

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la influencia de la calidad de las calizas para la producción de cal viva en la Calera "La Conga"?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cuál es la relación de las características geoquímicas de la caliza en la producción de cal viva?

¿Cuál es la influencia de la ley de CaCO_3 en la producción de cal viva?

¿Cuál es la influencia de la presencia de impurezas en la producción de cal viva?

1.3. Objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la calidad de las calizas para la producción de cal viva en la Calera "La Conga".

1.3.2 Objetivos Específicos

- Conocer la relación de las características geoquímicas de la caliza en la producción de cal viva.
- Determinar la influencia de la ley de CaCO_3 en la producción de cal viva.
- Determinar la influencia de la presencia de impurezas en la producción de cal viva.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación teórica

Tradicionalmente las calizas para producir cal, han sido extraídas de las diferentes canteras a lo largo de las formaciones calcáreas que surcan la geografía del estado, las cuales se han visto disminuidas y actualmente es mayor la oferta que la demanda. Con este estudio se determinará la calidad de la caliza de acuerdo a su porcentaje de carbonato de calcio para su posterior comercialización.

1.4.2 Justificación práctica

Este estudio beneficiara a la empresa MULTISERVICIOS JOSAN SRL, ya que aportara información necesaria para la explotación específica.

De lo anterior resulta necesario que la empresa elabore la optimización de recursos y también incluyendo los posibles impactos ambientales para minimizarlos y mitigarlos de manera responsable.

1.5. Alcance de la investigación

Con el presente trabajo de investigación se pretende determinar la calidad de roca caliza en la Calera La Conga, con fines de producción y comercialización de cal viva por parte de la empresa MULTISERVICIOS JOSAN SRL.

Capítulo 2 MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

- Martínez – Martínez, Javier. (2008) Para garantizar el correcto comportamiento de una roca, es necesario conocer no solo sus características mecánicas iniciales, sino también su respuesta y evolución en el tiempo bajo las condiciones de su ubicación.
- Reyes (1980). Existen ocurrencias de depósitos minerales metálicos y no metálicos, distribuidos indistintamente en rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas. Los primeros, están relacionados con mineralización de Pb, Ag, Zn, Cu, Au, Mo y los segundos con mantos de carbón, arcillas y rocas para la industria del cemento y la construcción.
- Inadem (2014) define que: la Calcita se localiza en canteras repartidas por el mundo entero. Es fácil encontrar como minerales asociados los siguientes: siderita, cuarzo, pirita, prenhita, fluorita, dolomita y baritita. Muy explotado en canteras de las que se extrae en gran cantidad para una amplia variedad de usos, desde utilización para fabricar cementos y morteros, tal como piedras de construcción de caliza y mármol, rocalla y grava también para la construcción, abonos agrícolas para tierras demasiado ácidas, o incluso la calcita transparente para la industria óptica como prisma polarizadores de microscopios. La caliza fundida se usa también en la industria metalúrgica del acero y en la fabricación de vidrio.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 La Cal y su Composición

2.2.1.1 La Materia Prima para la Elaboración

La materia prima utilizada en la elaboración de la cal es la piedra caliza, que es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces senciblemente) el color y el grado de coherencia de la roca. El carácter prácticamente monomineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: es menos dura que el cobre (su dureza en la escala de Mohs es de 3) y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos tales como el ácido clorhídrico (Coloma, 2008).

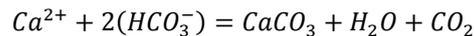
2.2.1.2 Formación

Por su aspecto blanco son muy distinguibles. Las calizas se forman en los mares cálidos y poco profundos de las regiones tropicales, en aquellas zonas en las que los

aportes detríticos son poco importantes, Dos procesos, que generalmente actúan conjuntamente, contribuyen a la formación de las calizas (Martínez, 2008).

2.2.1.3 Origen Químico

El carbonato de calcio se disuelve con mucha facilidad en las aguas que contienen gas carbónico disuelto (CO_2). El entorno en los que aguas cargadas de CO_2 liberan bruscamente este gas en la atmósfera, se produce generalmente la precipitación del carbonato de calcio en exceso según la siguiente reacción:



Esa liberación de CO_2 interviene, fundamentalmente, en dos tipos de entornos: en el litoral cuando llegan a la superficie aguas cargadas de CO_2 y, sobre los continentes, cuando las aguas subterráneas alcanzan la superficie (Martínez, 2008).

2.2.1.4 Origen Biológico

Numerosos organismos utilizan el carbonato de calcio para construir su esqueleto mineral, debido a que se trata de un compuesto abundante y muchas veces casi a saturación en las aguas superficiales de los océanos y lagos (siendo, por ello, relativamente fácil inducir su precipitación). Tras la muerte de esos organismos, se produce en muchos entornos la acumulación de esos restos minerales en cantidades tales que llegan a constituir sedimentos que son el origen de la gran mayoría de las calizas existentes.

Actualmente limitada a unas cuantas regiones de las mareas tropicales, la sedimentación calcárea fue mucho más importante en otras épocas. Las calizas que se pueden observar sobre los continentes se formaron en épocas caracterizadas por tener un clima mucho más cálido que el actual, cuando no había hielo en los polos y el nivel del mar era mucho más elevado. Amplias zonas de los continentes estaban en aquel entonces cubiertas por mares epicontinentales poco profundos. En la actualidad, son relativamente pocas las plataformas carbonatadas, desempeñando los arrecifes un papel importante en la fijación del carbonato de calcio marino (Martínez, 2008).

2.2.1.5 Procesos clásicos

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 cambiar: primero se 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 resulto una gama de depósitos calizos, tales como los indicados en el cuadro 1 (Oruz, 1985).

Cuadro 1: Depósitos calcáreos

DEPÓSITOS CALIZOS	TIPOS DE MATERIAL
Calcáreos	Impuras, contienen arcillas o pizarras.
Arcillosos	Con altos contenidos de arcilla.
Carbónaceos	Que contienen material orgánico o carbón.
Estalactitas y estalagmitas	Obtenidas por precipitación química en cavernas.
Mármoles	Granos grandes que aceptan pequeños polímeros, generalmente contienen impurezas que producen su particular aspecto. Es muy pobre para cal, porque se vuelven contaminantes.
Travertinos	Densas, muy metamorfizadas y en ocasiones impuras, parecida al mármol.
Horstenos	Que contienen cristales separados de horsteno, el cual es una variedad amorfa del cuarzo (sílice).
Oolíticos	Que contienen cristales separados de horsteno, el cual es una variedad amorfa del cuarzo.
Pizolíticos	Parecido a la olítica pero de granos mayores.
Tizas	Suaves y blandas.
Espato de Islandia	Tienen la más forma más pura de Carbonato de calcio, altamente cristalina, en ocasiones transparente y normalmente usado en instrumentos ópticos.
Corales y rocas coralinas	Normalmente conchas de locos, ostiones, etc.
Densas masivas	Origen biológico, frecuentemente de grano fino, siendo la principal materia prima para la fabricación de cal.

Fuente: Oruz, 1885.

2.2.1.6 Utilidad

Es una roca importante como reservorio de petróleo, dada con gran porosidad. Tienen una gran resistencia a la meteorización; esto ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en caliza hayan llegado hasta la actualidad. Sin embargo, la acción del agua de lluvia y de los ríos (especialmente cuando se encuentra acidulada por el ácido carbónico) provoca su disolución, creando un tipo de meteorización característica denominada kárstica. No obstante es utilizada en la construcción de enrocamientos para obras marítimas y portuarias como rompeolas, espigones, escolleras entre otras estructuras de estabilización y protección.

La roca caliza es un componente importante del cemento gris usado en las construcciones modernas y también puede ser usada como componente principal, junto con áridos, para fabricar el antiguo mortero de cal, pasta grasa para creación de estucos o lechadas para pintar superficies, así como otros muchos usos por ejemplo en industria farmacéutica o peletera. Se encuentra dentro de la clasificación de recursos naturales (RN) entre los recursos no renovables (minerales) y dentro de esta clasificación, en los no metálicos, como el salitre, el aljez y el azufre.

Mineralógicamente, los carbonatos útiles para la fabricación de los distintos tipos de cal son: la dolomita, la aragonita y la calcita. Siendo la aragonita, relativamente escasa, ya que es la obtenida por precipitación en caliente en un proceso químico (Taylor, 1967).

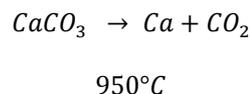
Cuadro 2: Características físico químicas de las calizas

Nombre Mineralógico	Fórmula Química	Peso Molecular	Peso Especifico	Dureza	Forma de los Cristales
		g/mol	g/cc	Escala de Mohs	
Dolomita	CaCO ₃ , MgCO ₃	184.4	2.84	3.5 – 4.0	Romboédrica
Aragonita	CaCO ₃	100.1	2.84	3.5 – 4.0	Ortorrómbica
Calcita	CaCO ₃	100.1	2.72	3.0	Romboédrica
Magnesita	MgCO ₃	84.3	3.00	3.5 – 4.5	Romboédrica

Fuente: Taylor, 1967

2.2.2 Elaboración de la Cal y su Composición

Se forma óxido de calcio cuando el carbonato de calcio se quema en el aire. En gran escala se produce calentado 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 cual se combinará con el dióxido de carbono para formar el carbonato, y la presión del dióxido de carbono (en mm. De Hg) a diversas temperaturas y son:

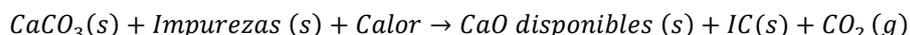
Cuadro 3: Valores de presión para el CO₂

Temperatura (°C)	500	600	700	800	882	900
Presión (mmHg)	0.15	2.98	31.2	208	760	784

Fuente: Coloma, 2008.

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 tipo horno holandés, 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

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 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 posible obtener partículas geoméricamente homogéneas, mono tamaños o mono granulares; por lo general se produce 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:



Dónde:

El CaO, disponible(s) o total, está conformado por el CaO útil + CaO quemado + CaO crudo y por el IC(s) que corresponde a las impurezas concentradas.

El CaO útil, corresponde al CaO libre generado durante la calcinación y cuyo pH natural es 12.6. Generalmente se encuentra entre la capa superficial de la partícula, que corresponde al material quemado por sobreexposición al calor y el núcleo de ésta, que es donde queda el material crudo, sin calcinar.

El CaO quemado se encuentra en la superficie de la partícula, es el CaO que se ha combinado, por exceso de calor, durante la calcinación, con el sílice, la alúmina o el hierro contenido en las calizas y cuyo pH natural es entre 12.6 a 12.8 o más. Generalmente corresponde a la parte exterior de las partículas grandes y a la totalidad de las partículas pequeñas (Coloma, 2008).

2.2.3.4 Impurezas

El contenido de impurezas en los distintos tipos de cal, va a depender de las que se encuentren en la materia prima, entre las más comunes están principalmente: el sílice, el aluminio, el hierro, el azufre, el magnesio y los metales alcalinos, entre otras. En algunos casos hay trazas fundentes y pigmentos, tales como: el magnesio y el flúor, que le otorgan al producto distintas tonalidades en su color, fluctuando desde el blanco, al beige, e incluso algunas alcanzan el negro, siendo esta última característica una propiedad física, que no altera sus propiedades de alcalinización ni su calidad en la capacidad o valor alcalinizante.

La presencia de estos elementos, puede ser muy importante en algunos usos o aplicaciones de la cal donde tanto el manganeso, como el flúor, afectan o perjudican el

proceso en la cual la cal es adicionada o, quedan asociados en el residuo final que se genere (Ford, 1964).

2.2.4 Factores que afectan la calidad de CaO Industrial

Como se ha mencionado anteriormente, el carbonato de calcio (CaCO_3) se calientan en los hornos rotatorios o verticales para expulsar el CO_2 de la caliza (CaCO_3 más impurezas) y producir óxidos de calcio (CaO) disponible. Este proceso es llamado calcinación.

Las condiciones de calcinación afectan significativamente la calidad de cal viva, CaO disponible, que resulta de este proceso. Los siguientes factores son los más determinantes de la calidad del CaO total o disponible (Coloma, 2008):

- Composición de las calizas.
- Temperatura del horno durante el periodo de calcinación.
- Tiempo de residencia de la Cal en el interior del horno.
- Concentración del anhídrido carbónico en la atmosfera del horno (CO_2 residual).

2.2.4.1 Composición química de la caliza, CaCO_3 mas impurezas

La composición química de la caliza, carbonato de calcio con impurezas, no se pueden controlar sin un impacto del mayor costo en la fabricación de cal viva, por consiguiente, se aceptan generalmente variaciones. Hay que calentar uniformemente la caliza en el horno, por eso se debe controlar continuamente la temperatura de calcinación, el tamaño de particular debe ser relativamente uniforme. Hay que evitar largo tiempo de residencia en el horno.

El tamaño de partícula de caliza debe ser pequeño, típicamente alrededor de 1.5" a 5". Sin embargo, debido a la naturaleza del funcionamiento del chancado, en realidad hay un rango en tamaño que van desde 1.5" a 2".

Aunque el tiempo de residencia y la temperatura en el horno son constantes, la penetración del calor en las partículas de caliza es diferente, debido a la variación del tamaño de esta.

Como se indica en la Figura N°1, con un tamaño de mineral más grande, la primera partícula de la izquierda en la Figura N°1, el calor no penetra totalmente al centro, por consiguiente el centro de estos minerales queda crudo, como carbonato de calcio, mientras se convierte el exterior a CaO ; estos núcleos o centros son llamados "arena" en la lechada de cal. Para minerales de tamaño intermedio, la penetración del calor es algo más completo y se convierte todo el mineral en CaO , generándose una capa exterior de CaO enlazado a la sílice y alúmina presente en la materia prima. Para las partículas más pequeñas, el calor ingresa rápidamente al centro y se sobrecalienta la superficie, formando una capa externa, una cascara exterior más gruesa y algo dura, donde el agua le cuesta penetrar, por consiguiente, según el equipo utilizado para la

preparación de la lechada de cal, se puede retardar o prevenir el proceso de apagado (Roca, 2002).

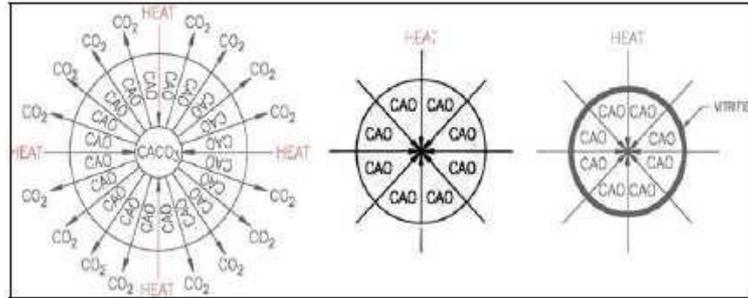


Figura 1: Calcinación de la cal.

Así pues, según la Figura N° 1, los productos obtenidos con las partículas de tamaño grande y medio son altamente reactivas (cal viva quemado suave) y las partículas más pequeñas, cal viva quemado duro, generalmente son de reactividad bajo si son calcinadas a "muerte" (Roca, 2002).

2.2.4.2 Temperatura del horno

La temperatura del horno afecta la calidad del CaO producido y por ende al hidróxido resultante desde el apagado de dicha cal viva. Tamaños de partículas muy pequeños con gran superficie específica, es el producto final más deseable de óxido de calcio. En el impacto de la temperatura del horno sobre el tamaño de partícula, expresada como área superficial de las partículas hidratadas de CaO, como un polvo fino y seco.

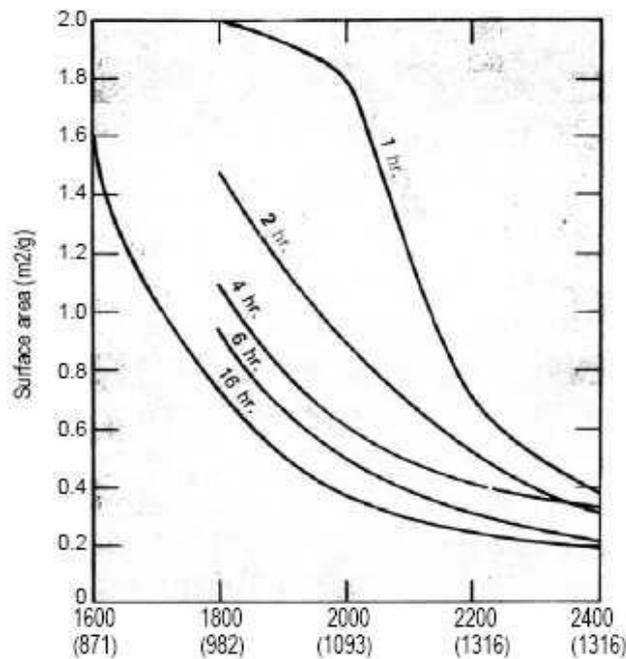


Figura 2: T° de calcinación vs área superficial de partícula

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 (Coloma, 2008).

2.2.4.3 Tiempo de residencia

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 baja tiempo de residencia, siendo opción de cada fabricante elegir lo que satisface su sistema (Hembostel, 2002).

2.2.4.4 Atmósfera del horno

Además de la temperatura del horno y del tiempo de residencia, la atmosfera 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 CO_2 para convertirse en CaCO_3 . El efecto de esta conversión es más pronunciado en las partículas pequeñas de CaO debido a la mayor superficie específica de estas (Hembostel, 2002).

2.2.5 Tipos y usos de la Cal

2.2.5.1 Cal viva

La cal viva se encuentra presente en la naturaleza, se puede sintetizar a partir del agua marina, que contiene concentraciones regulares de carbonatos de calcio y magnesio; mediante reacciones químicas y procesos fisicoquímicos, el carbonato es llevado a hidróxido de calcio, una última calcinación producirá óxido de calcio. Antiguamente se usaba "cal" en vez de «calcio», en algunos nombres de compuestos donde interviene este elemento, como el "talco" o "aljez" (sulfato de calcio deshidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) o el mármol o "gis" (carbonato de calcio, CaCO_3).

Los depósitos sedimentarios de carbonato de calcio se llaman caliches.

Este material utilizado para hacer mortero de cal se obtiene de las rocas calizas calcinadas a una temperatura entre 900 y 1200 °C, durante días, en un horno rotatorio o en un horno tradicional, romano o árabe. En estas condiciones el carbonato es inestable y pierde una molécula de dióxido de carbono.

El óxido de calcio reacciona violentamente con el agua, haciendo que ésta alcance los 90 °C. Se forma entonces hidróxido de calcio, también llamado cal apagada, o Ca (OH₂) (Coloma, 2008).

2.2.5.2 Cal Hidratada

El hidróxido de calcio reacciona otra vez con el óxido de carbono (IV) del aire para formar de nuevo carbonato de calcio. En esta reacción la masa se endurece. Por esto el óxido de calcio forma parte de formulaciones de morteros, especialmente a la hora de enlucir paredes de color blanco.

La cal se ha usado, desde la más remota antigüedad como conglomerante en la construcción; también para pintar muros y fachadas de los edificios construidos con adobes o tapial, habitual en las antiguas viviendas mediterráneas, en la fabricación de fuego griego. En algunos países de Latinoamérica, la cal se utiliza para el proceso de nixtamal, proceso utilizado para hacer sémola de maíz y masa para tortillas (Coloma, 2008).

2.2.5.3 Cal Hidráulica

Es la cal parcialmente hidratada o apagada en polvo que, además de solidificarse o fraguar en el aire, lo hace debajo del agua. Fue ignorada por los antiguos, los cuales emplearon, los morteros a base de cal grasa y puzolanas.

A principios del siglo XIX, se descubrió las cales hidráulicas al observar que, si la caliza primitiva contiene arcilla o se le añade en proporción del 8 al 20%, el producto resultante de la cocción, reducido a polvo, por extinción, tiene propiedades hidráulicas (L. Vicat)

Esto es debido a que en la cocción, en primer lugar, se produce una evaporación del agua de cantera hasta 110 °C.; hacia los 700 °C. Empiezan a descomponerse el carbonato cálcico. A temperatura más elevada reaccionan los productos resultantes: óxido de calcio (CaO), anhídrido silícico SiO₂ y alúmina Al₂O₃, formándose silicatos y aluminatos, y junto con el hidróxido cálcico constituyen el aglomerante llamado cal hidráulica.

Índice hidráulico de un aglomerante es la relación en peso entre la sílice, más la alúmina, más el hierro a la cal, más la magnesia:

$$I = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

La relación inversa del índice hidráulico se llama módulo hidráulico:

$$I = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

La clasificación de los productos hidráulicos teniendo en cuenta dichos índices, el tiempo de fraguado y medio de conservación (Coloma, 2008):

Cuadro 4: Clasificación de productos hidráulicos.

Naturaleza de los productos	Índice hidráulico	% de arcilla en la caliza primitiva	Tiempo de fraguado en agua	Observaciones
Cal grasa y magra	0.0 - 0.10	0.0 - 5.3	>>	Fraguan solo en el aire
Cal poco hidratada	0.10 - 0.16	5.3 - 8.2	16 - 30	Días
Cal medianamente hidratada	0.16 - 0.31	8.2 - 14.8	10 - 15	Días
Cal propiamente hidratada	0.31 - 0.42	14.8 - 19.1	5 - 9	Días
Cal eminentemente hidratada	0.42 - 0.50	19.2 - 21.8	2 - 4	Días
Cal limite o cemento lento	0.50 - 0.65	21.8 - 26.7	1 - 12	Horas
Cemento rápido	0.65 - 1.20	26.7 - 40.0	5 - 15	Minutos

Fuente: Coloma, 2008.

Extracción de la caliza.- Se hace casi siempre a cielo abierto, por grandes voladuras, para obtener piedras de composición más homogénea, fragmentándolas después al tamaño conveniente al horno que las ha de cocer (Roca, 2002).

Cocción.- Se emplean hornos de llama larga, pero casi siempre se hace en horno por capas (verticales).

Los hornos tienen forma oval, de unos 13 m de altura y 4 de diámetro mayor, disminuyendo éste en la boca o tragante y en la parrilla, la cual está constituida por un cono sobre un cilindro, para facilitar la descarga. Se echan capas alternadas de la caliza margosa y carbón de llama corta, antracita. Las paredes están provistas de ladrillo refractario y camisas aislantes, para evitar las pérdidas de calor por radiación y obtención de cal de mayor calidad (Roca, 2002).

Apagado de la cal hidráulica.- Esta operación requiere el máximo cuidado, pues depende de ella que el producto alcance las propiedades que se precisan, constituyendo la fase de más cuidado.

Se lleva a cabo por aspersion, regando con pulverizadores de agua fría o caliente la cal viva extendida sobre vagonetas de plataforma y amontonándola a continuación en

unos fosos, cuando todavía está caliente. Sobre este montón se echa el recién regado de la operación siguiente, el cual habrá absorbido el agua por capilaridad, y el calor desprendido al apagarse la cal en la capa inferior evapora el agua todavía no combinada de las capas superiores, produciendo una corriente ascendente de vapor, que acaba por apagar todo el óxido de cal o cal viva, pero no los silicatos y aluminatos, por no alcanzar los 120 °C necesarios para su hidratación. Si esta se llegara a verificar, se obtendría un producto sin propiedades físicas hidráulicas, recibiendo entonces el nombre de cales ahogadas. Si no se ha llegado por falta de agua a apagar la cal viva, ésta lo hará en la obra, pulverizándose y destruyendo los morteros.

Existen unos aparatos de fabricación continua, llamados extintores, construidos por unos cilindros de palastro, rotatorios, de 15 m de largo y 2 de diámetro, en los cuales se introduce por un extremo la cal viva recién obtenida, procedente del horno, llenándose hasta su mitad, y mediante unos pulverizadores se riega con 10% de agua y se produce la extinción o apagado (Warren, 2002).

Tamizado.- Se hace para separar la cal apagada de los trozos pocos o muy cocidos y que no se han pulverizado durante la extinción. Primero se hace pasar la cal por una criba de 2 a 3 cm de malla, que retienen los trozos más gruesos, y después por un cilindro de telas metálicas, 0.5 mm de luz por centímetro, que gira 80 rpm alrededor de un eje inclinado. La cal en polvo que pasa a través de las mallas recibe el nombre de flor de cal.

Los residuos de cernido, unos trozos de color amarillento, se llaman in cocidos, son pocos y se pueden separar a mano, y otros, de color gris verdoso, llamados recocidos o grappiers, debido a que la caliza tenía mayor proporción de arcilla y que han sufrido un principio de vitrificación. Antes estos grappiers se molían y añadían a las cales, con lo cual las mejoraba mucho; pero hoy día se emplean como cemento de grappiers de fraguado muy lento, creyéndose que están constituidos por silicatos; bicálcicos, SiO_2 , 2CaO , y tricálcico, SiO_2 , 3CaO .

Composición química.- Varía según sea más o menos hidráulica entre estos límites (Meco, 2003):

Cuadro 5: Composición química cal hidráulica.

SiO_2	15 – 26%
CaO	51 – 66%
Al_2O_3	2 – 10%
Fe_2O_3	0.5 – 5%

Fuente: Meco, 2003.

Combinados en forma de hidróxido cálcico, aluminato tricálcico y silicatos bicálcico y tricálcico.

El hidróxido de calcio, también conocido como cal muerta y/o cal apagada, es un hidróxido cáustico con la fórmula $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Es un cristal incoloro o polvo blanco, obtenido al reaccionar óxido de calcio con agua. Puede también precipitarse mezclando una solución de cloruro de calcio con una de hidróxido de sodio.

Si se calienta a 512°C , el hidróxido de calcio se descompone en óxido de calcio y agua. La solución de hidróxido de calcio en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y ataca varios metales. Se enturbia en presencia de dióxido de carbono por la precipitación de carbonato de calcio (Coloma, 2008).

2.2.5.4 Usos de la Cal

Hoy en día, la industria moderna difícilmente podría existir sin el uso de la cal y los materiales derivados de la piedra caliza. Literalmente se puede decir que casi todos los objetos que existen en el hogar de los seres humanos, han requerido el uso de la cal o de la piedra caliza en alguna de su fabricación, es decir, ya sea como materia prima o como un material necesario para el proceso de su producción. Algunos ejemplos de estos productos son el papel, el acero, los dentífricos y otros cosméticos, el azúcar, plásticos, pintura, etc. (Oruz, 1985).

Capítulo 3 HIPÓTESIS

3.1. Declaración de hipótesis

Con la evaluación de calidad de las calizas y su resultado repercutirá directamente en la producción de cal viva en la calera "La Conga".

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR
CALIDAD DE CALIZAS	Independiente	Determinada por la cantidad de minerales no carbonatados (impurezas como arcilla, cuarzo, arena, etc.) en los sedimentos.	Características Geoquímicas	Ley en % de Carbonato de calcio
				% de impurezas (sílice, Aluminio, Hierro, etc.)
			Características Físicas	Valor de la densidad en g/cm ³
				Grado de fracturamiento
PRODUCCIÓN DE CAL VIVA	Dependiente	Proceso químico básico que resulta de la calcinación de piedra caliza (Carbonato de calcio), del que se obtiene la cal viva.	% de Carbonato de calcio	Toneladas
			% de impurezas	Toneladas

3.3. Propuesta de solución

Al evaluar la calidad de las rocas calizas existentes en la calera "La Conga", se podrá obtener información para determinar la viabilidad y rentabilidad sobre la extracción, producción y comercialización de cal viva.

Capítulo 4 DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS

4.1. Tipo de diseño de investigación

La investigación desarrollada es experimental con diseño transversal, descriptivo y aplicativo. Es experimental porque se han realizado ensayos de laboratorio cualitativos. Es descriptivo porque se ha descrito física y químicamente a las calizas; es aplicativo por que ha descrito características estructurales y litológicas.

4.2. Material de estudio

4.2.1 Unidad de estudio

Calizas aflorantes.

4.2.2 Población

Calera "La Conga".

4.2.3 Muestra

02 muestras de calizas.

4.3. Métodos

4.3.1 Técnicas de recolección y análisis de datos

4.3.1.1 Recolección de datos

- Muestreo

La recolección de las muestras se realizara con el método aleatorio, tomando 02 muestras de piedra caliza más representativas del área de interés.

- Observación Directa

Se recolecta datos sobre las características geológicas del área de estudio.

- Mapeo Geológico

A través del reconocimiento petrológico se definirá las formaciones geológicas.

4.3.1.2 Análisis de datos

- Análisis Cuantitativo:
 - o Depuración de Datos

Para seleccionar la ubicación de las 15 muestras, se ubicara los lugares más representativos de menor calidad macroscópicamente según observación directa.

- Aplicar Programa Análisis de Resultados.

Se usaran cuadros comparativos entre los resultados de laboratorio y los estándares de calidad.

- Interpretar los Datos

Al comparar datos con los estándares definiremos que tipo de calidad tienen las calizas que van desde muy mala hasta muy buena de acuerdo al porcentaje de carbonato de calcio que tengan.

- Análisis cualitativos:

Al comparar los datos obtenidos con los estándares.

4.3.2 Procedimientos

4.3.2.1 Búsqueda de información

En la primera etapa como investigación secundaria, se realizara una revisión bibliográfica exhaustiva, documentos como libros, revistas científicas, papers, o informaciones afines con el trabajo a realizar, con el fin de identificar tanto las formaciones geológicas, la actividad tectónica de la zona (el comportamiento estructural), obtención del mapa topográfico, imágenes satelitales (Google Earth) y la carta geológica del cuadrángulo que alberga a la zona de estudio y un plano geológico de la zona en detalle, etc. los cuales serán usados a modo de base para la etapa posterior (trabajo de campo).

4.3.2.2 Integración de información

En la segunda etapa se conciliaran las informaciones y opiniones, la interpretación de la información, para definir con claridad la estructura del trabajo y el cumplimiento en el cronograma.

4.3.2.3 Trabajo de campo

En la tercera etapa como investigación primaria, comprende básicamente la obtención de data en campo que se dividirán en dos partes principales, en la primera, la ubicación, delimitación y reconocimiento fisiográfico de la zona, en donde se hará el cartografiado de la zona con ayuda del plano topográfico e imágenes satelitales.

Luego se desarrollará el muestreo aleatoriamente en campo de las calizas; también se tomarán datos como rumbo y buzamiento de los estratos, geometría del depósito, tipo de depósito, entre otras.

4.3.2.4 Trabajo de laboratorio

En esta etapa se llevarán las muestras al laboratorio químico para hacerle los siguientes ensayos:

- Método Gravimétrico y Complexométrico para la Determinación de Óxidos de Sílice, Aluminio, Hierro y Calcio.

4.3.2.5 Trabajo de gabinete

La cuarta etapa, consiste en utilizar la data obtenida en campo, como las características físicas de la roca como son color, raya, depositación, fractura, etc.; para definir su calidad aparente; la litología, el drenaje, la colocación de cada punto con las coordenadas geográficas (UTM), para luego procesar la data al Excel y de manera posterior al ARCGIS, para elaborar los planos.

Se analizarán los resultados de laboratorio para determinar la calidad real de las calizas mediante los ensayos realizados.

4.3.2.6 Realización y entrega de informe

Desarrollados los pasos anteriores se conseguirá llegar a la última etapa, la cual corresponde a la elaboración del informe final.

Capítulo 5 RESULTADOS

5.1. Resultados de porcentaje de Carbonato de Calcio

Según los resultados de los análisis de laboratorio se obtuvieron: M1 = 95.64% CaCO_3 , M2 = 92.2% CaCO_3 . Presentes en las muestras tomadas de la calera La Conga, lo cual comprueba experimentalmente que estas calizas son de buena calidad para la producción de cal viva.

5.2. Resultados de porcentaje de impurezas

En cuanto a los resultados de impurezas contenidas en las muestras tomadas tenemos: M1 = 4.36%, M2 = 7.8%; las cuales están representadas por óxidos férricos, óxido de magnesio, sílice y óxido de aluminio.

Capítulo 6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

- Los resultados obtenidos en laboratorio nos permiten concluir que la influencia de la calidad de roca caliza es alta para la producción de cal viva en la calera La Conga, por los porcentajes obtenidos de CaO_3 e impurezas, en las dos muestras evaluadas.
- Realizando un cálculo promedio de los resultados en cuanto a porcentaje de carbonato de calcio tenemos como resultado un 93.92%, lo cual nos indica que la roca caliza como materia prima es de buena calidad para la obtención de cal viva.
- En cuanto a las impurezas presentes en la roca, se ha obtenido un promedio de 6.08%, siendo un valor bajo, lo cual es bastante favorable para la producción final de cal viva.