



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LAS CALIZAS CON FINES INDUSTRIALES EN LA CONCESIÓN MINERA TRES PIRÁMIDES, DISTRITO DE MAGDALENA – CAJAMARCA 2016”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autores:**

Bach. Víctor Gabriel Castillo Rudas  
Bach. Juan Carlos Chunque Cerquín

**Asesor:**

Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

Cajamarca – Perú  
2016

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
<b>APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FOTOS .....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema.....	13
1.3. Justificación .....	13
1.4.1. <i>Justificación Teórica</i> .....	13
1.4.2. <i>Justificación Aplicativa o Práctica</i> .....	14
1.4.3. <i>Justificación Valorativa</i> .....	14
1.4.4. <i>Justificación Académica</i> .....	14
1.5. Limitaciones.....	14
1.6. Objetivos.....	14
1.6.1. <i>Objetivo General.</i> .....	14
1.6.2. <i>Objetivos Específicos.</i> .....	14
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.4. Antecedentes.....	15
2.5. Bases teóricas .....	16
2.5.1. <i>Rocas Carbonáticas</i> .....	16
2.5.2. <i>Clasificación de caliza según su contenido de carbonato de calcio.</i> .....	18
2.5.3. <i>Propiedades fisicoquímicas de la caliza y cal.</i> .....	19
2.5.4. <i>Características de la Caliza</i> .....	20
2.5.4.1. <i>Color</i> .....	20
2.5.4.2. <i>Textura</i> .....	21
2.5.4.3. <i>Dureza</i> .....	21
2.5.4.4. <i>Porosidad</i> .....	21
2.5.4.5. <i>Formación u Origen</i> .....	22
2.5.4.6. <i>Observaciones particulares</i> .....	22
2.5.5. <i>Varietades de Calizas:</i> .....	23
2.5.5.1. <i>De Origen Orgánico:</i> .....	23

2.5.5.2. De Origen Detrítico:.....	24
2.5.6. Proceso Productivo de Cal .....	24
2.6. Definición de términos.....	27
2.6.1. Calcinación .....	27
2.6.2. Caliza.....	27
2.6.3. Industria.....	27
2.6.4. Marga .....	27
2.6.5. Minería No Metálica .....	28
2.6.6. Propiedades Físicas.....	28
2.6.7. Propiedades Químicas .....	29
2.6.8. Titulación .....	29
2.6.9. Yacimiento.....	29
<b>3. HIPÓTESIS.....</b>	<b>30</b>
3.4. Formulación de la hipótesis.....	30
3.5. Variables.....	30
3.5.1. Independientes.....	30
3.5.2. Dependientes.....	30
3.6. Operacionalización de variables.....	31
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
4.4. Tipo de diseño de investigación .....	32
4.5. Material de estudio.....	32
4.5.1. Unidad de estudio .....	32
4.5.2. Población.....	32
4.5.3. Muestra.....	32
4.6. Métodos.....	32
4.6.1. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos .....	32
4.6.1.1. Etapa Compileria .....	32
4.6.1.2. Etapa de Campo .....	33
4.6.1.3. Etapa de laboratorio .....	37
4.6.1.4. Etapa de Oficina.....	48
<b>5. DESARROLLO.....</b>	<b>49</b>
5.4. Aspectos generales:.....	49
5.4.1. Ubicación .....	49
5.4.2. Vías de Acceso .....	49
5.4.3. Climatología y Meteorología .....	49
5.4.3.1. Temperatura.....	50
5.4.3.2. Insolación.....	53
5.4.3.3. Humedad Relativa .....	53
5.4.3.4. Precipitación.....	55
5.4.3.5. Presión Atmosférica .....	55
5.4.3.6. Velocidad y Dirección de Viento.....	57
5.5. Descripción Técnica del Proyecto.....	58
5.5.1. Producción.....	58
5.5.2. Materia Prima.....	59

5.5.3. Proceso de Producción .....	59
5.5.3.1. Recepción de Materia Prima.....	60
5.5.3.2. Planta de Calcinación .....	60
5.5.3.3. Estimados de Producción .....	64
5.6. Geología: .....	65
5.6.1. Formación Yumagual .....	65
5.6.2. Formación Cajamarca .....	66
5.6.3. Rumbo y Buzamiento: .....	67
5.6.4. Tipo de Depósito: .....	68
5.6.5. Potencia: .....	69
5.7. Propiedades Físicas.....	70
5.7.1. Color.....	70
5.7.2. Dureza .....	71
5.7.3. Textura.....	71
5.7.4. Densidad.....	72
5.8. Petrografía .....	74
5.5.1.No hay ninguna fuente en el documento actual. 1 (Mudstone): .....	74
5.5.2. Muestra 2 (Packstone): .....	77
5.5.3. Muestra 3 (Wackestone):.....	79
5.5.4. Muestra 4 (Wackestone):.....	81
5.9. Propiedades Químicas .....	82
5.9.1. Alteración química:.....	82
5.9.2. Densidad de la Piedra Caliza y Estructura del Cristal.....	82
5.9.3. Oxidación.....	83
5.9.4. Carbonato de calcio: .....	84
5.9.5. Pruebas Químicas.....	86
5.9.5.1. Prueba de titulación.....	86
5.9.5.2. Prueba de fluorescencia de rayos “x”.....	87
5.9.5.3. Prueba de perdida al fuego.....	87
5.10. Plan de Minado 2017 .....	88
5.10.1. Cálculo de Reservas con Minesight .....	88
5.10.2. Método de Explotación .....	90
5.10.3. Canteras .....	90
5.10.4. Operación de Minado.....	91
5.10.4.1. Ciclo de Minado.....	91
5.10.4.2. Maquinaria y Equipos .....	91
5.10.4.3. Recurso Humano.....	92
5.10.5. Parámetros de Extracción de la Roca .....	92
5.10.5.1. Cálculo del Burden: .....	92
5.10.5.2. Cálculo del Espaciamiento (S).....	92
5.10.5.3. Cálculo de Sobre perforación (U):.....	92
5.10.5.4. Cálculo de Altura del Banco (K):.....	92
5.10.5.5. Cálculo de Longitud de Perforación (H):.....	92
5.10.5.6. Módulo de Rigidez:.....	92
5.10.5.7. Longitud del Taco:.....	93

5.10.5.8.	<i>Parámetros Totales</i> .....	93
5.10.6.	<i>Parámetros de Voladura</i> .....	93
5.10.6.1.	<i>Concentración Lineal de Carga (Qbk):</i> .....	93
5.10.6.2.	<i>Cálculo del Consumo Específico de Explosivo (Ashby):</i> .....	94
5.10.6.3.	<i>Índice de Volabilidad de Billy:</i> .....	95
5.10.6.4.	<i>Factor de Energía:</i> .....	95
5.10.7.	<i>Producción Diaria.</i> .....	95
5.10.8.	<i>Cantidad de Explosivos y Accesorios.</i> .....	96
5.10.8.1.	<i>ANFO: 1620 Kg.</i> .....	96
5.10.8.2.	<i>Detonadores:</i> .....	96
5.10.8.3.	<i>Cordón Detonante:</i> .....	96
5.10.8.4.	<i>Dinamita:</i> .....	96
5.10.8.5.	<i>Mecha Lenta:</i> .....	97
5.10.9.	<i>Producción y Requerimiento Mensual</i> .....	97
5.10.9.1.	<i>Producción Programada</i> .....	97
5.10.9.2.	<i>Datos para Voladura</i> .....	97
5.10.10.	<i>Requerimiento de Explosivos</i> .....	97
5.10.10.1.	<i>Dinamita</i> .....	97
5.10.10.2.	<i>Detonadores</i> .....	98
5.10.10.3.	<i>Mecha Lenta</i> .....	99
5.10.10.4.	<i>ANFO</i> .....	99
5.10.10.5.	<i>Pentacord</i> .....	100
5.10.10.6.	<i>Requerimiento de Explosivos para el Año 2017</i> .....	101
5.10.11.	<i>Producción Anual de Caliza de la Planta de Producción Tres Pirámides</i> .....	102
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>103</b>
6.4.	<i>Análisis Físicos</i> .....	103
6.5.	<i>Análisis Petrográficos</i> .....	103
6.6.	<i>Análisis Químicos</i> .....	104
6.8.1.	<i>Análisis por Titulación</i> .....	104
6.8.2.	<i>Análisis por fluorescencia de rayos x.</i> .....	104
6.8.3.	<i>Análisis de pérdida al fuego</i> .....	104
6.9.	<i>Cálculo de Reservas</i> .....	105
6.10.	<i>Plan de Minado</i> .....	105
<b>7.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>106</b>
7.8.	<i>Propiedades Químicas</i> .....	106
7.9.	<i>Propiedades Físicas</i> .....	106
7.10.	<i>Reservas Minerales</i> .....	106
7.11.	<i>Plan de Minado</i> .....	106
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>107</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>108</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>109</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Cuadro 1: Calidad de la roca de acuerdo al CaCO <sub>3</sub> .	19
Tabla 2: Coordenadas UTM del proyecto.	49
Tabla 3: Temperatura de Cajamarca -Estación Aylambo Abril 2016.	51
Tabla 4: Resumen del resultado de Temperatura en la estación Ronquillo – junio 2016.	51
Tabla: Temperatura de Cajamarca, Estación Ronquillo-junio 2016.	52
Tabla 6: Temperatura medidas en el monitoreo, Magdalena, 2015.	52
Tabla 7: Temperaturas Medidas en el Monitoreo.	52
Tabla 8: Resumen del resultado de Humedad Relativa en la estación Ronquillo – junio 2016.	53
Tabla 9: Humedad relativa de Cajamarca -Estación Ronquillo, Junio 2016.	54
Tabla 10: Humedad Relativa Medidas en el Monitoreo.	54
Tabla 11: Humedad relativa- Monitoreo, Magdalena.	55
Tabla 12: Presión Atmosférica de Cajamarca.	56
Tabla 13: Presión Atmosférica Medidas en el Monitoreo.	56
Tabla 14: Presión Atmosférica medida en el monitoreo 2016.	56
Tabla 15: Velocidad del viento Medidas en el Monitoreo.	57
Tabla 16: Velocidad del viento medida en el monitoreo, Magdalena, 2016.	57
Tabla 17: Rosa de los Vientos E-1 (26 y 27 /06/2016)	58
Tabla 18: Estimación de producción de Piedra Caliza /año.	58
Tabla 19: Capacidad de los hornos.	61
Tabla 20: Resultados de titulación.	104
Tabla 21: Resultados de análisis de fluorescencia de Rayos X.	104

## ÍNDICE DE FOTOS

	<b>Pág.</b>
Foto 1: Cantera.....	33
Foto 2: Medición de estructuras de forma en la cantera.....	33
Foto 3: Medición de fracturas.....	34
Foto 4: Medición de rumbo y buzamiento.....	35
Foto 5: Muestreo de calizas.....	36
Foto 6: Muestra de caliza.....	36
Foto 7: Trituración de muestra (UNC-Lab de suelos).....	37
Foto 8: Molienda de la muestra.....	38
Foto 9: Discos y anillos de molienda.....	39
Foto 10: Secado de la muestra.....	40
Foto 11: Muestra en matraz.....	41
Foto 12: Ácido clorhídrico en la muestra.....	41
Foto 13: Reactivos utilizados en laboratorio para titulación.....	42
Foto 14: Muestras para rayos x.....	43
Foto 15: Prensa Herzog para elaborar pastillas.....	44
Foto 16: Espectrómetro XRF MinipalRx PANalytical.....	45
Foto 17: Tara de crisol.....	46
Foto 18: secado de muestra.....	46
Foto 19: Tara de la muestra con pérdida de fuego.....	47
Foto 20: Piedra caliza gris fracturada.....	59
Foto 21: Hornos de calcinación.....	62
Foto 22: Horno de calcinación.....	62
Foto 23: Formaciones Geológicas.....	66
Foto 24: Calizas de la Fm. Cajamarca.....	67
Foto 25: Medición de Rumbo y Buzamiento de los estratos.....	67
Foto 26: Calizas de la Fm. Cajamarca en Tres Pirámides.....	69
Foto 27: Muestra de caliza para evaluación de dureza.....	70
Foto 28: Muestra de caliza para evaluación de dureza.....	71
Foto 29: Muestra de caliza para evaluación de textura.....	71
Foto 30: Muestra de caliza para peso específico.....	72
Foto 32: Muestra de caliza en vaso de precipitación.....	73

## RESUMEN

Este trabajo de investigación consiste en la evaluación de la calidad de las rocas calizas en la concesión minera no metálica Tres Pirámides, con fines industriales para producir óxido de calcio.

En Cajamarca es necesaria la caracterización de las rocas calizas para usos industriales, se considera importante contar con información básica y estudiarlos para incentivar y promover su desarrollo.

La evaluación físico química apropiada de las calizas, además de ser la base para el diseño de las obras mineras, contribuye a la optimización del método explotación, y permite evitar una inversión vana.

El objetivo principal de esta tesis es evaluar la calidad de las calizas en la concesión Tres Pirámides para producir óxido de calcio, y luego determinar la calidad de las calizas de acuerdo a sus características físicas, determinar la calidad de las calizas de acuerdo a sus características químicas, realizar el cálculo de reservas y realizar el plan de minado.

Con el desarrollo de esta tesis se llegó a las siguientes conclusiones:

- De acuerdo a la geología mapeada en la concesión minera no metálica Tres Pirámides, sólo se evidencian la formación geológica Cajamarca y Yumagual compuestas por calizas. las calizas de la formación Cajamarca son más óptimas para la generación de óxido de Calcio.
- De acuerdo a sus características físicas de las muestras analizadas, se concluye que la calidad es buena para elaborar óxido de calcio, ya que se clasifican en Mudstone, Packstone y Wackestone.
- De acuerdo a los análisis químicos realizados en laboratorio se concluye que la calidad de estas calizas es buena para la elaboración de óxido de calcio, representando un valor mínimo de 94.43% de carbonatos totales y un valor máximo de 97.11%.
- Las reservas estimadas son 687 589 Toneladas métricas, con una producción mensual de 3600 toneladas métricas, las reservas durarían 15.91 años de vida útil.
- El plan de minado se realizará mediante el método de explotación en bancos a cielo abierto, usando una combinación de explosivos entre dinamita, anfo, mecha lenta, pentcord, detonadores y cordón detonante.



## ABSTRACT

This research involves the evaluation of the quality of the limestone in the non-metallic mining concession Three Pyramids, for industrial purposes to produce calcium oxide.

In Cajamarca characterization of limestone for industrial use it is necessary, it is considered important to have basic information and study to encourage and promote their development. The proper chemistry of limestone, as well as being the basis for the design of mining works, physical evaluation contributes to optimizing the exploitation method, and avoids a vain investment.

The main objective of this thesis is to evaluate the quality of the limestone in the concession Three Pyramids to produce calcium oxide, and then determine the quality of the limestone according to their physical characteristics, determining the quality of the limestone according to their characteristics chemical, perform the calculation of reserves and make the mine plan.

With the development of this thesis it was reached the following conclusions:

- According to the mapped geology in the nonmetallic mining concession Three Pyramids, only the geological formation Cajamarca and Yumagual composed of limestone are evident. limestone formation Cajamarca are optimal for the generation of calcium oxide.
- According to the physical characteristics of the samples analyzed, we conclude that the quality is good to produce calcium oxide are classified as Mudstone, Packstone and wackestones.
- According to chemical analyzes laboratory concluded that the quality of these limestones is good for the development of calcium oxide, representing a minimum value of 94.43% of total carbonates and a maximum value of 97.11%.
- Estimated reserves are 687 589 metric tonnes, with a monthly output of 3600 metric tons, the reserves would last 15.91 years of life.
- The mine plan will be made by the method banks operating in the open, using a combination of explosives including dynamite, ANFO, slow fuse, pentcord, detonators and detonating cord.

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTOS M. (1989). Estudio geológico y análisis petrográfico-estadístico de la Formación Guárico y sus equivalentes en la sección Altagracia de Orituco-Agua Blanca-Gamelotal-San Francisco de Macaira, estados Guárico y Miranda. UCV-G, 220 p.
- BARRETO, J (2010) Caracterización Geológica de la Cantera Mume ubicada en el Municipio Cristóbal Rojas de los Valles del Tuy, Estado Miranda. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- BELLO, C., ICHASO, D., AITOR, A (1999). Estudio Geológico y de factibilidad de material a ser usado como agregado grueso para para concreto. Hacienda el Cedro, Distrito Montalbán, Estado Carabobo. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- BOGGS, S. (1992) Petrology of Sedimentary Rock. Macmillan Publishing Co, New York, 707 p.
- BUSTILLO, M., LÓPEZ JIMENO, C. (1997). Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras. Entorno Gráfico, Madrid. 705 pp.
- COELLO, V. (2012). Significado tectónico y procedencia de la formación guárico a través de análisis petrográfico y minerales pesados, venezuela norcentral. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela.
- CORNIEL, Y (2010) Estudio Geológico de la Cantera el Melero, ubicada en el Distrito Cristobal Rojas, Municipio Charallave, Estado Miranda. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- CORPOVEN (1990). Mapa de Geología de Superficie (Zona Central), hoja 6745, escala 1:50.000. Gerencia de Exploración.
- DICKINSON, W. Y SUCZEK, C (1979). Plate tectonics and sandstones compositions. En: AAPG Bull. 63(12):2164-2182.
- E.T.S.I. (2012). "Guía Interactiva de Minerales y Rocas de la E.T.S.I. de Montes UPM". Montes, Forestal y del Medio Natural - Universidad Politécnica de Madrid. FÁBRICA NACIONAL DE CEMENTOS. (2001). Manual de aseguramiento de la Calidad. Gerencia de Planta. ISO-9000, Ocumare del Tuy. Información Técnica.

- FÁBRICA NACIONAL DE CEMENTOS. 2012. Actualización topográfica de la cantera Chupadero. Fábrica Nacional de Cementos, Ocumare del Tuy. Escala 1:1000.
- FOLK, R. (1974) Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill, Austin, TX, 159 pp.
- GIRARD, D., 1981. Pétrologie de quelques séries spilitiques mésozoïques du domaine Caraïbe et des ensembles magmatiques de l'île de Tobago. Univ. de Bretagne Occidentale, Brest, Tesis de doctorado de 3er. ciclo, 229 p.
- GRANDE, S (2005). Ciclos Tectónicos en la Cordillera de la Costa. GEOS N° 38: pág 4-6.
- KONIGSMARK, T.A (1965). Geología del Área de Guárico Septentrional-Lago de Valencia. Boletín de Geología (6), Pág 209-383.
- MACSOTAY O., VIVAS, V., Y MOTICSKA, P (1995). Biostratigraphy of the Piemontine Nappe of North-central Venezuela: Senonian to Eocene gravitational sedimentation. Bol. Geol., MMH. Publicación Especial. 10:114-123.
- MARTINEZ, NAHYSA Y CAMPOSANO, L (2000). Caracterización química y radiométrica de secciones. Trabajo Especial de Grado. Inédito.
- MORCILLO, J. (1989). Temas básicos de química (2ª edición). Alhambra Universidad. p. 368.
- MOUNT, J., (1985) Mixed siliciclastic and carbonate sediment: a propose First order textural and compositional classification. Sedimrntology, 32; 435-442 p.
- NAVARRO E., OSTOS, M., & YORIS, F (1988). Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte
- norte-central de Venezuela durante el Jurásico medio – Paleógeno. 427-436.
- NAVARRO E., OSTOS, M., Y YORIS, F (1987). Síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte norte-central de Venezuela durante el Jurásico medio – Paleoceno. Mem. I Jornadas de Investigación en Ingeniería. UCV, Facultad de Ingeniería. 93-98.
- NAVARRO, E. (1983). Petrología y petrogénesis de las rocas metavolcánicas del Grupo Villa de Cura. Revista Geos, 28: 170-317.
- PETTIJOHN, F.; PORTIER & SIEVER (1972) Sans and Sandstone. Springer-Verlag, New York; 618 p.

- PINDELL, J. L., ROGERS, H. & DEWEY, F. J. (1998) Cenozoic Palinspastic Reconstruction, Paleogeographic Evolution and Hydrocarbon Setting of the Northern Margin of South America. S.E.P.M. Spec. Pub. No 58. 45-87 p.
- PINDELL, J. Y KENNAN, L (2005). Plate-kinematics and Crustal dynamics of circum-Caribbean arccontinent interactions: Tectonic controls on basin development in Proto-Caribbean margins. Pág 39-46.
- REMO, B. Y GONZÁLEZ V. (2002) Modelo geológico para la zona sur del yacimiento b-2x.71, eoceno frac, cuenca de maracaibo – Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar. Edo. Bolívar.
- SANTIAGO, F., Y CARCEDO, F. (1995). Contaminación y depuración de suelos Instituto Tecnológico Geominero de España, 1995.
- SCASSO, R. Y LIMARINO, C., 1997, Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas, Asociación Argentina de Sedimentología, Argentina.
- SCHMID, R. (1981). Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: recommendations of the I.U.G.S. subcommision on the systematics of. Geology. The geological society of America. Vol 9, p.41-43.
- SKOOG, D., HOLLER, J. & NIEMAN, T. (2000). "Principios de Análisis Instrumental", Quinta Edición, McGraw Hill, Madrid, 2000.