

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**

**TESIS:**

**FACTORES CRÍTICOS DEL PLAN DE MINADO Y SU  
EFECTO EN LA PRODUCTIVIDAD DE ÓXIDO DE CALCIO  
(CaO) DEL PROYECTO MINERO LA RESURRECCIÓN  
E.I.R.L, BAMBAMARCA – CAJAMARCA, 2016**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**ORTIZ GOICOCHEA, RONALD**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**- 2017 -**

**A:**

Dios por tener a mi familia unida, haberme ayudado a llegar hasta este punto dentro de lo planeado, darme la fe, la fortaleza, la salud y la sabiduría que fueron totalmente indispensables para lograr mi objetivo, además por su infinita bondad y amor.

A mis padres Pablo y Manuela, son el mejor ejemplo; gracias por la vida y por todo lo que me han dado, simplemente los amo y son el motor en mi vida, para ustedes es cada triunfo, este es uno más y el más importante hasta hoy porque estoy convencido que llegaran más, ahora les puedo decir misión cumplida.

A mis hermanos Hermitanio, Segundo, William, Royer y Mary por apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida profesional siempre estaré orgulloso de ustedes.

A Ibeth, el amor de mi vida por ser una persona especial para mí y brindarme su apoyo incondicional durante mi vida profesional, por estar siempre a mi lado y apoyarme a cumplir uno de mis objetivos en la vida.

**Ronald**

## **Agradecimiento**

A Dios por darme la vida.

A mis Padres y Hermanos a quienes les debo mi vida, les agradezco por su cariño, comprensión, paciencia e infinito apoyo que me han brindado a lo largo de toda esta etapa para culminar mi carrera profesional.

A la Universidad privada Alas Peruanas por haberme brindado la oportunidad de estudiar en sus aulas y ser un pilar de conocimientos y sabiduría en el desarrollo de mi carrera.

Al proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, auspiciante de esta investigación, a los ingenieros quienes me brindaron la oportunidad de realizar mi tesis y por su apoyo incondicional durante este período.

A nuestros maestros gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

A mis familiares y amigos gracias por su preocupación constante, a mis amigos por todos los momentos buenos y malos, recuerdos que perduraran por siempre, gracias totales a todos ellos que hoy comparten mi alegría de culminar esta etapa de mi vida.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Carátula.....	I
Dedicatoria.....	II
Agradecimiento.....	III
Resumen.....	X
Abstract.....	XI
Introducción.....	XII
<b>CAPITULO I: CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLOGICO.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Descripción de la realidad problemática .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Delimitación de la investigación.....</b>	<b>14</b>
1.2.1. Delimitación espacial.....	14
1.2.2. Delimitación social.....	14
1.2.3. Delimitación temporal.....	15
1.2.4. Delimitación conceptual.....	15
<b>1.3. Problemas de la investigación .....</b>	<b>15</b>
1.3.1. Problema principal.....	15
1.3.2. Problemas secundarios.....	15
<b>1.4. Objetivos de la investigación .....</b>	<b>16</b>
1.4.1. Objetivo general.....	16
1.4.2. Objetivos específicos.....	16
<b>1.5. Hipótesis y variables de la investigación.....</b>	<b>16</b>
1.5.1. Hipótesis general.....	16
1.5.2. Hipótesis secundarias.....	17
1.5.3. Variables ( definición conceptual y operacional ).....	17
<b>1.6. Metodología de la investigación .....</b>	<b>18</b>
1.6.1. Tipo y nivel de investigación.....	18
a. Tipo de investigación.....	18
b. Nivel de investigación.....	19
1.6.2. Método y diseño de la investigación.....	19

a. Método de la investigación .....	19
b. Diseño de la investigación .....	19
1.6.3. Población y muestra de la investigación .....	20
a. Población .....	20
b. Muestra .....	20
1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	20
a. Técnicas .....	20
b. Instrumentos .....	21
1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación .....	22
a. Justificación .....	22
b. Importancia .....	23
c. Limitaciones .....	23
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1. Antecedentes de la investigación .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2. Bases teóricas .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3. Definición de términos básicos .....</b>	<b>90</b>
<b>CAPITULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>92</b>
<b>3.1. Análisis de tablas y gráficos .....</b>	<b>92</b>
<b>3.2. Conclusiones .....</b>	<b>103</b>
<b>3.3. Recomendaciones.....</b>	<b>104</b>
<b>3.4. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>106</b>
<b>1. Matriz de consistencia .....</b>	<b>107</b>

## Índice de tablas

<b>Tablas</b>	<b>pág.</b>
Tabla 1. Operacionalización de variables.....	18
Tabla 2. Técnicas e instrumentos.....	21
Tabla 3. Coordenadas UTM PSAD .....	29
Tabla 4. Coordenas de la cantera .....	29
Tabla 5. Acceso de Cajamarca a la zona del Proyecto Minero .....	31
Tabla 6. Tipos y características de depósitos de roca caliza .....	38
Tabla 7. Tipos y características de la caliza .....	40
Tabla 8. Procedimientos para el muestreo aleatorio simple .....	49
Tabla 9. Muestra de estudios proyecto minero .....	50
Tabla 10. Valoración del macizo rocoso zona 1 .....	52
Tabla 11. Valoración del macizo rocoso zona 2 .....	53
Tabla 12. Valoración del macizo rocoso zona 3 .....	54
Tabla 13. Clase de macizo rocoso .....	55
Tabla 14. Controles adecuados a los factores críticos .....	66
Tabla 15. Análisis de zonas con mayor porcentaje de CaCO <sub>3</sub> . .....	67
Tabla 16. Produccion de CaO por tonelada de roca caliza. ....	71
Tabla 17. Diseño de malla de perforación .....	75
Tabla 18. Diseño de polvorín para material explosivo.....	77
Tabla 19. Hornos de producción de óxido de calcio .....	83
Tabla 20. Producción Total de Óxido de Calcio día/mes/año .....	83
Tabla 21. Costos de insumos - producción CaO proyecto minero .....	86
Tabla 22. Costos de mano de obra .....	87
Tabla 23. Costos de equipos, vehículos y herramientas. ....	88
Tabla 24. Costos en implementos de seguridad y otros .....	88
Tabla 25. Gastos generales y administrativos .....	89
Tabla 26. Seguros, derechos de concesión .....	89
Tabla 27. Seguros, derechos de concesión .....	89
Tabla 28. cronograma de trabajo de investigación .....	93
Tabla 29. Producción total de óxido de calcio día/mes/año .....	96

Tabla 30. Costos unitarios .....	97
Tabla 31. Cálculo de la productividad de CaO .....	98
Tabla 32. Productividad ejecutada .....	98
Tabla 33. Estadística de incremento de productividad .....	98
Tabla 34. Comparación de la productividad de CaO .....	100

## Índice de figuras

<b>Figuras</b>	<b>pág.</b>
Figura 1. Mapa de localización del proyecto .....	30
Figura 2. Denuncio minero los CHANCAS I .....	34
Figura 3. Formación del macizo rocoso .....	35
Figura 4. Determinación de la calidad del macizo rocoso .....	42
Figura 5. Dominio estructural del macizo rocoso .....	43
Figura 6. Grado de meteorización .....	43
Figura 7. Orientación del macizo rocoso rumbo .....	44
Figura 8. Orientación del macizo rocoso buzamiento.....	44
Figura 9. Espaciamiento del macizo rocoso .....	45
Figura 10. Resistencia del macizo rocoso .....	45
Figura 11. Rugosidad del macizo rocoso .....	46
Figura 12. Abertura del macizo rocoso .....	46
Figura 13. Relleno del macizo rocoso .....	47
Figura 14. Resistencia del relleno del macizo rocoso .....	47
Figura 15. Humedad y permeabilidad del macizo rocoso .....	48
Figura 16. Cálculo para la valorización del RMR .....	51
Figura 17. Método de explotación de la roca caliza .....	72
Figura 18. Operaciones unitarias de roca caliza .....	73
Figura 19. Reservas en la cantera de roca caliza .....	73
Figura 20. Reservas de caliza para perforación .....	74
Figura 21. Malla de perforación en la cantera de roca caliza .....	74
Figura 22. Esquema de operación de voladura .....	76
Figura 23. Esquema de operación de voladura .....	76
Figura 24. Desatado y desquinche en la cantera .....	78
Figura 25. Fragmentación primaria de la caliza .....	79
Figura 26. Roca caliza chancada en cantera .....	79
Figura 27. Transporte Interno en la cantera roca caliza chancada .....	80
Figura 28. Fragmentación secundaria y recargada de hornos .....	81
Figura 29. Fragmentación secundaria y recargada de hornos .....	82
Figura 30. Proceso de calcinación .....	84

Figura 31. Estadística de incremento de productividad de CaO .....	99
Figura 32. Índice de productividad de CaO .....	100
Figura 33. Índice de productividad de CaO de incremento .....	101
Figura 34. Porcentaje de incremento de productividad de CaO .....	101
Figura 35. Porcentaje de incremento DESPUÉS 2016 .....	102
Figura 36. Cantera de explotación de óxido de calcio del proyecto minero .....	132
Figura 37. Verificación y observación del macizo rocoso del proyecto .....	132
Figura 38. Ubicación de hornos de calcinación del proyecto .....	133
Figura 39. Recolección de datos en campo, apoyo del jefe de operaciones .....	133
Figura 40. Carguío de hornos para la producción de CaO .....	134
Figura 41. Retiro de la roca convertida en CaO granulado del proyecto .....	134
Figura 42. Selección del CaO de acuerdo a la granulometría del proyecto .....	135
Figura 43. Almacenamiento de CaO en el almacén del proyecto .....	135
Figura 44. Almacenamiento de cal granulada del proyecto .....	136
Figura 45. Almacenamiento de cal fina del proyecto .....	136
Figura 46. Instalación de zonas de carguío del proyecto .....	137
Figura 47. Instalaciones de oficinas centrales del proyecto .....	137
Figura 48. Sala de reuniones del proyecto .....	138
Figura 49. Almacén de herramientas del proyecto .....	138
Figura 50. Señalización de uso de EPP del proyecto .....	139
Figura 51. Señalización de entrada al acceso de carguío del proyecto .....	139
Figura 52. Señalización de escaleras a los hornos del proyecto .....	141
Figura 53. Ciclo de operaciones para la producción de cal .....	141

## Resumen

El objetivo de la presente tesis profesional fue determinar los factores críticos del plan de minado, y su efecto en la productividad de óxido de calcio CaO del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca 2016. Los factores críticos son aquellos aspectos fundamentales considerados dentro del plan de minado como factores que ponen en riesgo el proceso productivo, por lo cual permanentemente hay que hacer un seguimiento, estableciendo las medidas de control adecuadas. Frente a esta evaluación de factores afectuosos dentro del proyecto se ha formulado los objetivos, alcances y contenido, enmarcado en determinar y controlar estos factores críticos del plan de minado, dada la coyuntura actual de carácter productivo que atraviesa el proyecto minero. Por lo que es vital la identificación de estos ya que si no se logra identificar siempre se corre el riesgo de reducción de volumen en la etapa de producción de tal manera se debe seguir procedimiento adecuados para cada factor y se debe tener en cuenta cada efecto que ocasiona si no se cumple con el procedimiento y controles ya establecido para cada uno de los factores identificados dentro del proyecto, siempre perjudicaran como lo han venido haciendo anteriormente. La determinación de los factores críticos del plan de minado, permitió ver el grado de afectación al proceso y a prevenir los riesgos que estaban ocasionando hacia el proyecto mediante diferente técnicas y métodos a seguir.

Por lo tanto podemos decir que la productividad de óxido de calcio es de suma importancia para el proyecto porque es la cantidad de producción de óxido de calcio (producto) en relación al insumo, materiales y recursos utilizados para la parte operativa de los procesos, por unidad de tiempo. Al cumplir con todos los procedimientos y controles ya establecido para cada factor entonces se mejorara calidad del producto final y se incrementara la productividad de CaO.

**Palabras claves:** factores críticos, plan de minado, productividad de CaO.

## **Abstract**

The objective of the present professional thesis was to determine the critical factors of the mining plan and its effect on the CaO calcium oxide productivity of the La Resurrección EIRL mining project, Bambamarca - Cajamarca 2016. The critical factors are those fundamental aspects considered within the Mining plan as factors that put at risk the productive process, so that it is necessary to follow up permanently, establishing the appropriate control measures. The objective, scope and content of this evaluation of affective factors within the project have been formulated, framed in determining and controlling these critical factors of the mining plan, given the current situation of productive character that crosses the mining project. So it is vital to identify these because if it is not possible to identify always run the risk of volume reduction in the production stage in such a way should follow appropriate procedures for each factor and must take into account each effect that Causes if the procedure and controls already established for each one of the factors identified within the project are not met, they will always hurt as they have been doing previously. The determination of the critical factors of the mining plan, allowed to see the degree of affectation to the process and to prevent the risks that were causing towards the project through different techniques and methods to follow.

Therefore we can say that calcium oxide productivity is of the utmost importance for the project because it is the amount of calcium oxide production (product) in relation to the input, materials and resources used for the operational part of the processes, for Unit of time. By complying with all procedures and controls already established for each factor then the quality of the final product will be improved and CaO productivity will be increased.

Key words: critical factors, mine plan, CaO productivity.

## Introducción

La tesis factores críticos del plan de minado, y su efecto en la productividad de óxido de calcio del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca 2016, es importante mencionar que la explotación de los recursos no metálicos es una actividad que genera un importante activo económico, que muchas veces se desprecia por desconocimiento. Actualmente la explotación del óxido de calcio se ha constituido en una importante actividad extractiva debido a la demanda que presenta en las diferentes actividades humanas como la agricultura, la industria, la construcción y la minería.

El objetivo principal de la tesis es determinar los factores críticos del plan de minado, y su efecto en la productividad de óxido de calcio (CaO), del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca 2016.

La tesis se justifica, teniendo en cuenta que el proyecto minero la Resurrección E.I.R.L, anualmente ha ido disminuyendo la productividad a causa de factores críticos presentes en las operaciones del plan de minado, frente a esta evaluación de factores afectuosos dentro del proyecto se ha formulado los objetivos, alcances y contenido, enmarcado en determinar y controlar los factores críticos del plan de minado, que afectan la productividad de óxido de calcio del proyecto, dada la coyuntura actual de carácter productivo que atraviesa el proyecto minero La Resurrección E.I.R.L.

Para tal fin, la tesis consta de tres capítulos: primer capítulo contienen descripción de la realidad problemática, delimitación de la investigación, problemas, objetivos, hipótesis y variables y metodología de la investigación; segundo capítulo encontramos la descripción del marco teórico; Tercer capítulo consta de la presentación, análisis e interpretación de resultados y finalmente indicamos las conclusiones y recomendaciones, adicionando a todo ello el anexo correspondiente.

## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

El Proyecto Minero La Resurrección se dedica a la producción y comercialización de óxido de calcio (CaO), La cal es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. En ese estado se denomina cal viva (óxido de calcio) y si se apaga sometiéndola al tratamiento de agua, se le llama cal apagada (hidróxido de calcio). La producción de óxido de calcio hoy en día se ha convertido en una de las fuentes económicas activas importantes en la industria, ya sea a mediana y gran escala, gracias a sus grandes beneficios y utilidades de su aprovechamiento. Es importante mencionar que el Proyecto Minero La Resurrección está considerado como un pequeño productor minero, su ente regulador y fiscalizador es la DREM.

En el Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, encontramos que el problema principal de la baja productividad es la falta de control de los factores críticos presentes en el proceso de operaciones, para obtener el producto final (óxido de calcio). Los factores críticos que se determinó dentro del trabajo de investigación son los siguientes: La materia prima, el proceso de calcinación y el método de almacenamiento lo cual vienen a ser parámetros que influyen directamente en la reducción del volumen de producción y calidad del producto final (CaO), producto de presencia de

elemento que se encuentran dentro de estos factores que causan daño al proceso productivo del proyecto. Por ende el costo operativo aumenta siendo así una gran desventaja para las utilidades de la empresa. Hoy en día el nivel competitivo en este sector se ha incrementado y es imprescindible controlar los costos de producción para generar una mayor utilidad, estableciendo indicadores de manera eficaz y veraz en el periodo programado, garantizando así el óptimo aprovechamiento de los recursos establecidos en el presupuesto.

En el departamento de Cajamarca el 55% de las empresas que se dedican a la producción de óxido de calcio encontramos que en su mayoría no existe una identificación y determinación de los factores críticos presentes en el proceso productivo lo cual representa, que más de la mitad de proyectos no metálicos necesitan una mejora en su productividad que es la base importante de todo pequeño y gran productor minero, como es el caso del proyecto minero “La Resurrección E.I.R.L” que se encuentra ubicada dentro del departamento.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

El presente trabajo profesional se ejecutó, en el Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, con una extensión de concesión de 700 hectáreas en el distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc y departamento Cajamarca.

### **1.2.2. Delimitación social**

La presente tesis profesional está constituida por el Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, que se dedica a la producción y comercialización de óxido de calcio (Ca), ubicado en la comunidad campesinas Frutillo Bajo que pertenece al centro urbano del distrito de Bambamarca.

### **1.2.3. Delimitación temporal**

La presente tesis profesional se desarrolló desde el 11 de abril del 2016 al 11 de setiembre del 2016.

### **1.2.4. Delimitación conceptual**

Los factores críticos determinados dentro del plan de minado como factores que ponen en riesgo el proceso productivo de óxido de calcio (CaO), por lo cual permanentemente hay que hacer un seguimiento estableciendo las medidas de control adecuadas y la productividad de óxido de calcio (CaO) es la cantidad de producción de óxido de calcio (producto) en relación al insumo, materiales y recursos utilizados para la parte operativa de los procesos por unidad de tiempo.

## **1.3. Problemas de investigación**

### **1.3.1. Problema principal**

- ¿Cuáles son los factores críticos del plan de minado y su efecto en la productividad de óxido de calcio (CaO), del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca, 2016?

### **1.3.2. Problemas secundarios**

- ¿Qué controles se aplican para minimizar el efecto de los factores críticos del plan de minado, en la productividad de óxido de calcio (CaO), del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca, 2016?

- ¿Cuál es el efecto económico de los principales factores críticos que afectan la productividad de óxido de calcio (CaO), del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca, 2016?

## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Determinar los factores críticos del plan de minado y su efecto en la productividad de óxido de calcio (CaO) del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca, 2016.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Establecer controles para minimizar el efecto de los factores críticos del plan de minado, en la productividad de óxido de calcio (CaO), del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca, 2016.
- Determinar cuál es el efecto económico de los principales factores críticos, que afecta la productividad de óxido de calcio (CaO), del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca, 2016.

## **1.5. Hipótesis y variables de la investigación**

### **1.5.1. Hipótesis general**

- Los factores críticos del plan de minado y su orden de incidencia del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, que afecta la productividad de óxido de calcio (CaO) son: la materia prima, el proceso de calcinación y el método de almacenamiento.

### **1.5.2. Hipótesis secundarias**

- Los controles aplicados para minimizar el efecto de los factores críticos del plan de minado del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, en la productividad de óxido de calcio (CaO) benefician en un 37 % al proyecto.
- Los factores críticos como la materia prima, el proceso de calcinación y el método de almacenamiento del plan de minado, afecta la productividad de óxido de calcio (CaO), del proyecto en un 40 % respectivamente.

### **1.5.3. Variables (definición conceptual y operacional)**

#### **Variable independiente**

Son los Factores críticos determinados dentro del Proyecto Minero La Resurrección son: la materia prima, el proceso de calcinación y el método de almacenamiento.

#### **Variable dependiente**

Es la productividad de óxido de calcio (CaO), dentro del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, son: La producción, los recursos y el producto.

**Tabla 1:** Operacionalización de variables.

Operacionalización de variables						
Variables		Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumento
Variable independiente	Factores críticos	Los factores críticos son factores que ponen en riesgo el proceso productivo de óxido de calcio.	Materia prima	Parámetros de la roca (dureza, grado de fracturamiento, espaciamiento, discontinuidades, apertura y rugosidad).	Observación	Guía de observaciones
			Proceso de calcinación	Temperatura del horno, retención de la roca caliza en el horno, concentración del CO <sub>2</sub> en el horno, tamaño físico de la piedra caliza	Observación	Guía de observaciones
			Método de almacenamiento	Zona segura de almacenamiento ( tiempo y ambiente)	Observación	Guía de observaciones
Variable dependiente	Productividad de óxido de calcio (cao)	Es la cantidad de producción de óxido de calcio en relación al insumo, materiales.	Producción	Volumen de producción	Análisis documentales	Tarjeta de registro de información
			Recursos	Humanos, materiales y financieros	Entrevistas	Guía de entrevista
			Producto	Medir el % de pureza y calidad del producto	Observación	Guía de observaciones

Fuente: Elaboración propia - 2016.

## 1.6. Metodología de la investigación

### 1.6.1. Tipo y nivel de investigación

#### a. Tipo de investigación

El presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación correlacional no experimental de corte transversal puesto que busca la aplicación del proyecto de investigación sin la realización de un experimento y en un determinado espacio de tiempo dentro del proyecto minero.

## **b. Nivel de investigación**

La investigación es descriptiva y explicativa porque describe los hechos como son observados y explicativa porque pretenden conducir a un sentido de comprensión o entendimiento de un fenómeno estableciendo relaciones de causa – efecto del proyecto en estudio.

### **1.6.2. Método y diseño de la investigación**

#### **a. Método de investigación**

El método que se aplica en la investigación es el método inductivo el cual está basado en el método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Esto implica que luego de una primera etapa de observación, análisis y clasificación de los hechos, se logra postular una hipótesis que brinda una solución al problema planteado. Por lo que en el proyecto, primero se realiza la observación de hechos para determinar los factores críticos existentes dentro del proyecto minero, luego se realiza el proyecto de investigación.

#### **b. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación corresponde al diseño correlacional, porque estudia la relación que existe entre la variable dependiente e independiente, De tal manera que la variable dependiente está sujeta de la independiente.

### **1.6.3. Población y muestra de la investigación**

#### **a. Población**

Se considera como población al Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, que se dedica a la producción y comercialización de óxido de calcio (CaO), durante el 2016.

#### **b. Muestra**

La muestra del presente estudio de investigación que se ha considerado es factores críticos del plan de minado y su efecto en la productividad de óxido de calcio (CaO), del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca, 2016. Durante el periodo de ejecución de trabajo de investigación.

### **1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **a. Técnica de la observación**

En esta investigación se consideró la técnica de la observación como una de las técnicas de importancia cuyo propósito es identificación de área, estudio del terreno, análisis de muestras, análisis de propiedades de la roca caliza y determinación de los factores críticos y otras.

#### **b. Técnicas documentales**

Se consideró esta técnica porque se utilizó documentos oficiales que fueron emitidos por el Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, con información relevante que sirvió de ayuda para realizar el proyecto de investigación y poder determinar los factores críticos dentro del plan de minado del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L.

### c. Técnica de la entrevista

Se consideró esta técnica porque mediante cuestionarios se logró obtener información importante de expertos que laboran para el proyecto minero con amplio conocimiento en el tema para el realizar el proyecto de investigación.

### 1.6.5. Instrumentos

Los instrumentos a emplearse para la elaboración del presente trabajo se explican en la presente tabla:

**Tabla 2:** Técnicas e instrumentos.

<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
<b>Documentales</b>	- Solicitud de permiso y autorización al proyecto para realizar la investigación. - Memoria USB capacidad 8 Gb. - Servicio de copias.
<b>Observación</b>	Libreta de campo - Ficha de registro - videos - Fotografías
<b>Entrevista</b>	-Encuestas verbales a expertos con amplio conocimiento en el tema. - Formulación de preguntas. - Libreta de apuntes. - Cámara.

Fuente: Elaboración propia - 2016.

### 1.6.6. Fuentes

#### a. Fuentes primarias

- Documentación por parte del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, 2016.
- Datos obtenidos en campo mediante la técnica de la observación in situ.

- Medición de indicadores de producción en función al tiempo real.

#### **b. Fuentes virtuales**

- Acceso a internet.
- Acceso a páginas del ministerio de energía y minas.

Obtener información relevante, de algunos autores reconocidos utilizando las teorías planteadas para desarrollar el proyecto.

### **1.6.7. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación**

#### **a. Justificación**

Este proyecto sirve para identificar debilidades que pasa dentro del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, estableciendo controles adecuados que ayuden a minimizar el daño que ocasionan los factores críticos a la productividad de óxido de calcio y así tener un mejoramiento continuo, con este fin la empresa se beneficiara en cuanto a incrementar la productividad y mejorar aspectos relacionados con la calidad del producto.

Entonces aplicando estos controles adecuados a los factores críticos que causan daño al proceso de operaciones, la empresa estará en condiciones de solucionar sus problemas que venía teniendo como incumplimientos de volumen de producción, mal manejo de recursos, devoluciones del producto por mala calidad, que en síntesis solo afectan a la productividad de óxido de calcio (CaO), dentro del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, y así poder cumplir con todos sus parámetros establecidos por sus clientes como: Minera Yanacocha S.R.L y Gold Fields la Cima S.A y otros, además se capacitara a los colaboradores del proyecto minero.

En los factores críticos del plan de minado se conceptualizara algunas de la actividades que en este caso se enfocan a la ingeniería en lo que respecta a productividad, sabemos que hoy día no es competitivo quien no cumple con (calidad, producción, bajos costos, tiempos, estándares, eficiencia, innovación, nuevos métodos de trabajo, tecnología) y muchos otros conceptos que hacen que cada día la productividad sea un punto de cuidado en los planes a largo y pequeño plazo. Que tan productiva o no sea una empresa podría demostrar el tiempo de vida, de dicha corporación, además de la cantidad de producto fabricado con total de recursos utilizados.

#### **b. Importancia**

Es importante realizar este proyecto de investigación porque, día a día, las empresas deben mejorar e incrementar su productividad para mejorar sus costos y poder competir en la apertura de mercados que se está dando.

El proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, se dedica a la explotación de óxido de calcio (CaO), cuyo objetivo principal es determinar los factores críticos y su efecto en la productividad, para lo cual se aplica controles inmediatos para tener así un método de extracción basado en las características y estructuras del macizo rocoso, también presenta cálculos y modelos de las operaciones de voladura, control de recursos, control de presupuesto suficiente. Mediante el cual cumplirá en desarrollar sus actividades de manera eficaz y eficiente, contribuyendo al buen desarrollo productivo de la empresa.

#### **c. Limitaciones**

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se consideró las siguientes limitaciones:

- Falta de taludes.
- El mal tiempo climático, factor lluvia, evita el trabajo.
- No cuenta con una disponibilidad máxima de equipos, pues no se pueden plantear estrategias operativas.
- Los moradores no brindan información del malestar que causa el proyecto minero.
- No se cuenta con un software de simulación de minado para realizar las pruebas correspondientes y determinar el factor de error de la planificación.
- La realización de un plan de minado, menos detallado se realiza en un tiempo no menor de un año, pues es necesario evaluar las operaciones anuales para obtener un indicador exacto.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

En Colombia en un proyecto de investigación *“Una perspectiva general del apagado de la cal y los factores que afectan el proceso”* El proceso de Apagado de Cal Viva es un proceso crítico, proceso, el cual no generalmente lo suficientemente conocido por la gente que opera los equipos. El método y control usado para el Apagado afecta grandemente la eficiencia del proceso. Además de la calidad de la cal viva, la temperatura en que se realiza el apagado afecta la calidad de la lechada de cal producida. Es esencial tener la instrumentación apropiada para mantener una apropiada temperatura de apagado y una relación de agua a cal en un cierto rango se concluye que en el área superficial específica de las partículas del hidróxido de calcio. Un mayor tamaño del área superficial específica de hidratación, da una mayor superficie para la reacción, por lo tanto, una mayor eficiencia de reacción y menor consumo de CaO. La superficie específica del hidróxido de calcio tiene una gran variación bajo las variables antes descritas. El rango típico de la superficie específica del hidróxido de calcio está entre 8000 y 58000 cm<sup>2</sup>/gr. Los datos empíricos mostrados entre la relación existente entre el tamaño de la partícula hidratada y la superficie específica no es lineal, lo cual estas variables afecta directamente al proceso de extracción de cal hidratada. (Miller, 2000).

En Ecuador en la tesis de grado se realizó un *“Proyectos para la creación de una empresa productora y comercializadora de carbonato de calcio”* Las especificaciones de calidad de la cal cada día son más estrictas en el sentido de nulo, o muy bajo contenido en azufre, así como homogeneidad a lo largo del tiempo en el producto obtenido. Esto ha llevado en los últimos años a un planteamiento de modernización de las instalaciones de calcinación. La mejora continua de las instalaciones para reducir el consumo energético y las emisiones de partículas y gases a la atmósfera, han sido una preocupación constante en las empresas dedicadas a esta actividad. Actualmente, una parte de la cal se vende micronizada, la utilización de hornos verticales permite obtener la calidad adecuada para la industria siderúrgica, su principal cliente, con un consumo energético aceptable, aunque los hornos horizontales fijan menos azufre en la cal obtenida y, en este sentido, pueden cumplir más estrictamente las limitaciones al contenido en azufre. Por contra, tienen un mayor consumo energético, la tendencia es por tanto a fabricar cales con granulometrías bien controladas, utilizar combustibles limpios y con un reducido coste térmico, la utilización del gas natural como combustible y la instalación de sistemas de filtración que captan las partículas sólidas de los gases de escape, contribuyen a la mejora medioambiental en las plantas de calcinación, no debe olvidarse el desarrollo de sistemas de combustión que permitan la mezcla de combustibles primarios y secundarios a un menor coste y sin perjuicio del medio ambiente. En conclusión, el aumento de la calidad del producto y la eficiencia energética implican mejores calidades en las materias primas, hornos verticales con recuperación de calor y la utilización del gas natural como combustible donde sea posible y a costes aceptables. (Sinaluisa, 2013).

En el Perú en la Tesis *“Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de caliza para la producción de óxido de calcio”* se estipula o llega a concretarse que en su estado original de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) es calentado en hornos de tipo rotatorios horizontales para

sacar el anhídrido Carbónico (CO<sub>2</sub>) y producir óxido de calcio (CaO). Este proceso se llama “calcinación “. Las altas condiciones de temperatura a la que se realiza la calcinación, afectan la calidad del CaO. Los factores que determinan la calidad del CaO son los siguientes: composición química de la caliza, temperatura de horneado durante la calcinación, tiempo de permanencia del CaO en el horno calcinación, permanencia del CO<sub>2</sub> en la atmósfera del horno calcinación. Estos factores a la vez que son importantes dentro de la etapa de determinación de la calidad del CaO, también es de suma prioridad, debido a que si no se tiene un control adecuado afectan directamente la calidad de producto y también reducen el volumen de producción perjudicando a la empresa que se dedica a la extracción de CaO como: aumentando los costos de producción y disminuyendo las ganancias totales finales. (Guerra, 2005).

En Cajamarca en la Tesis *“estudio de un plan de minado para la explotación de canteras en Cajamarca”*, se llegó a las siguientes conclusiones la gran importancia que tiene el desarrollo de un plan de minado para una empresa para seguir un proceso adecuado en la explotación de cal dentro del pequeño productor minero lo cual la cantidad de empresas que existe dentro de esta región no cuentan con un buen desarrollo productivo de explotación de óxido de calcio para poder mejorar su nivel productivo como económico debido a la demanda que existe hoy en día de la variedad de roca caliza. La obtención de óxido de calcio (Ca) para ser usado en manejo de suelos, agrícola e industria azucarera y en la minería por lo que dentro del marco de la ley que regula la explotación y transformación de la roca caliza en cal y en pro de llegar a la excelencia y desarrollar las actividades antes mencionadas en un ambiente de seguridad, estabilidad y respeto tanto para el medio ambiente como la comunidad y el personal que trabajan en empresas que elaboran un plan de minado con el interés único de desarrollarlo en su totalidad en las diferentes etapas que intervienen como es actividad minera. (Castillo, 2014).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Descripción de la zona de estudio**

El proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, es una empresa dedicada a la producción y comercialización de óxido de calcio, pertenece al estrato del Pequeño Productor Minero No Metálico con calificación N° 0052-2016; en Marzo del 2010 inicia sus actividades mineras formalmente con la Resolución N° 139-2010-GR- CAJ/ DREM en la concesión minera Los Chancas I, con código N° 010036192 con una extensión de 700 hectáreas en el distrito de Bambamarca, provincia de Hualgayoc y departamento de Cajamarca. La planta de producción de óxido de calcio se encuentra ubicada en km 5.5 de la carretera Bambamarca que conduce a Cajamarca, caserío de Frutillo bajo a una altitud de 2814 m.s.n.m.

El proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, desarrolla sus actividades operativas en tres zonas cercanas a las oficinas centrales, cada zona es independiente y poseen acceso directo para realizar el carguío de unidades con el producto final deseado, cumpliendo con los más altos estándares de seguridad, medio ambiente y calidad para satisfacer eficientemente los pedidos de los clientes. Así desde el año 2012 se inició a trabajar con el sector minero formalmente, (Zanja, Tanatahuatay, Gold Fields y Minera Yanacocha), expresando confianza y responsabilidad durante el abastecimiento con el pedido. Para trabajar al 100%. Anualmente se extrae un promedio de 60326.00 Tn de roca caliza y se procesa 36486.00 Tn de óxido de calcio. En el último año se reportaron como ventas finales de 32190.00 Tn de óxido de calcio.

## a. Ubicación geográfica

Geográficamente el derecho minero LOS CHANCAS I, se encuentra ubicado entre los cerros Tio Conga, Corral Orco, Sallapata, El Ada y Huandor Chugo, Caserío Frutillo Bajo, Distrito Bambamarca, Provincia Hualgayoc y Departamento de Cajamarca. El derecho minero Los Chancas I comprende un área de 700 hectáreas, cuyas coordenadas UTM correspondientes a la zona 17 del sistema PSAD-56, con alturas aproximadas entre 2600 y 2800 m.s.n.m. (ver anexo 3): plano de ubicación geográfica del proyecto minero.

**Tabla 3.** Coordenadas UTM PSAD - del área de explotación minera no metálica.

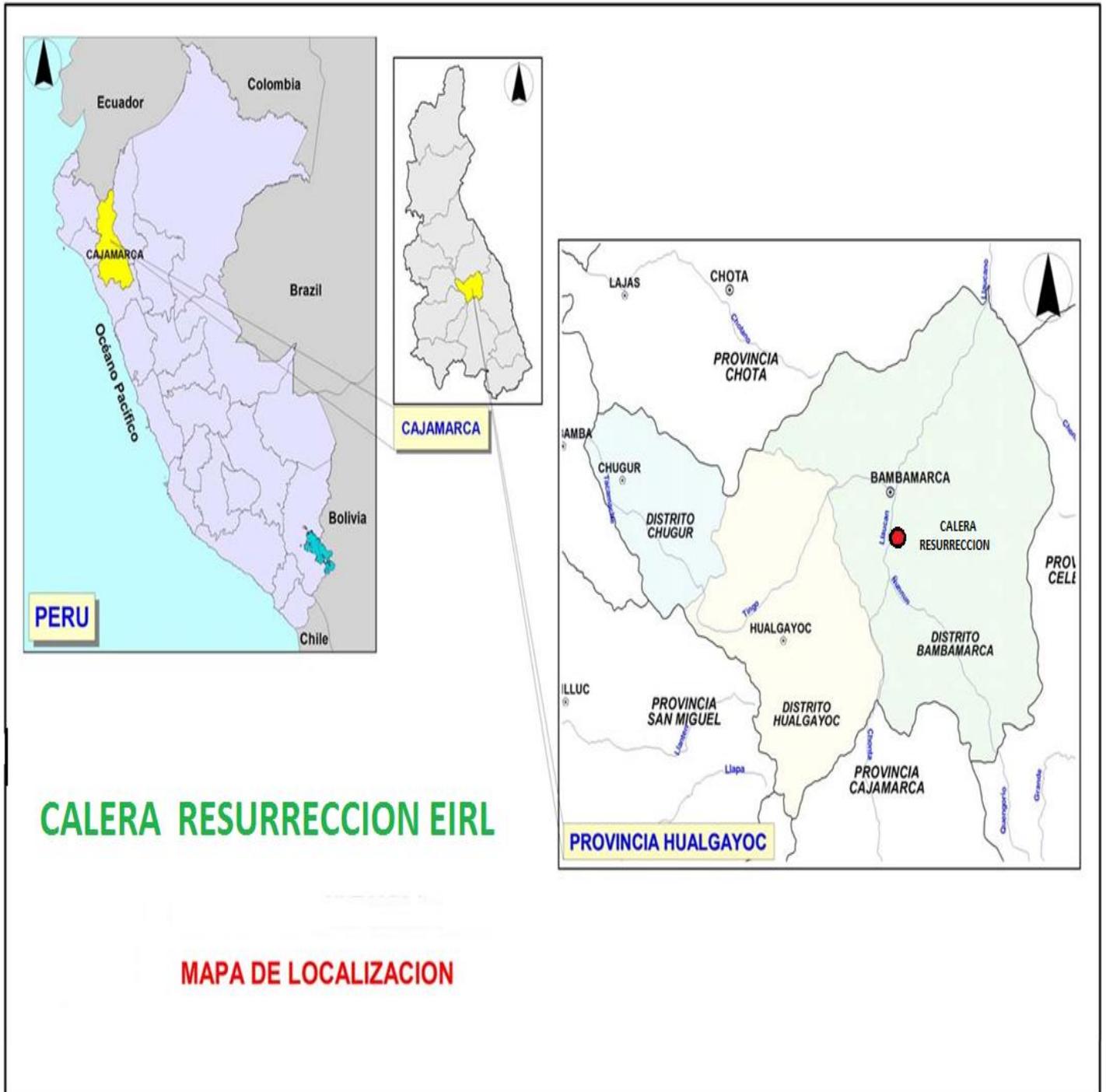
Vértices	Norte	Este
1	9.259.475,00	771.600,00
2	9.259.475,00	771.725,00
3	9.259.350,00	771.600,00
4	9.259.350,00	771.725,00

**Fuente:** Proyecto minero La Resurrección E.I.R.L – 2016.

**Tabla 4:** Coordenadas de la cantera de extracción de roca caliza.

Vértices	Norte	Este
1	9.259.920,00	771.960,00
2	9.259.920,00	772.000,00
3	9.259.860,00	772.000,00
4	9.259.860,00	771.960,00

**Fuente:** Proyecto minero La Resurrección E.I.R.L – 2016.



**Figura 1:** Mapa de localización geográfica del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016  
**Fuente:** Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.

## Accesibilidad

Para llegar a la zona del proyecto se parte desde la ciudad de Cajamarca hasta el distrito de Bambamarca (120 Km), por la carretera que se dirige hacia este mismo distrito pasando por las empresas mineras Yanacocha, Gold Fields La Cima y la provincia de Hualgayoc. La carretera se encuentra asfaltada hasta Bambamarca, en la cual también encontramos tramos que falta ser asfaltada debido a los problemas que se ha tenido con los vecinos influenciados que se oponen a que concluyan dicho proyecto de mejoramiento de la carretera.

**Tabla 5:** Acceso de Cajamarca a la zona del proyecto minero.

Ruta	Distancia (Km)	Tipo de vía
Cajamarca – Bambamarca	120 Km	Afirmada y Asfaltada
Bambamarca – Resurrección EIRL	5.5 Km	Vía Asfaltada

**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

### b. Plano general de todas las instalaciones

En el plano general de todas las instalaciones, se detallan las instalaciones que conforman el proyecto minero La Resurrección como son: cantera, botadero de desmonte, áreas administrativas (oficina, tópico, almacén de herramientas, almacén de esas) vías de acceso, planta de beneficio, almacenes de óxido de calcio, zonas de carguío de unidades, zona de parqueo de unidades que realizan el transporte de producto (cal), hasta el cliente, Servicios higiénicos, duchas de emergencias, comedor, guardianía, balanza de pesaje de unidades, etc. (Ver Anexo 4), plano general de ubicación de las instalaciones del proyecto.

### **c. Base legal**

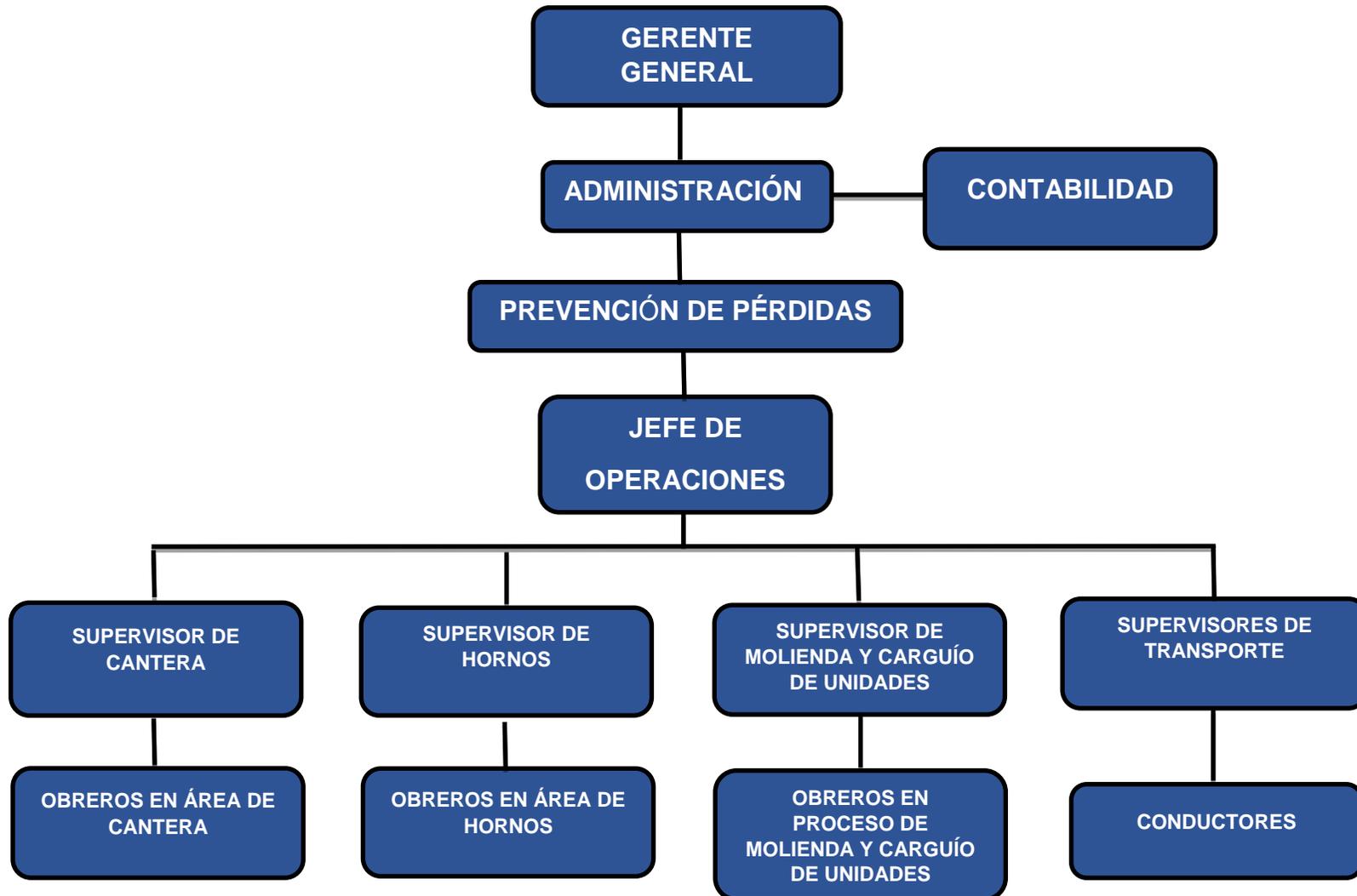
El Plan de Minado para la Concesión Chancas I “La Resurrección”, se realiza cumpliendo la siguiente base legal:

- Texto único ordenado por la ley general de minería - decreto supremo N° 014-94-EM.
- Reglamento de seguridad y salud ocupacional D.S. N° 024-2016-EM.
- Autorización para inicio/reinicio de actividades de explotación en concesiones mineras metálicas/no metálicas (incluye aprobación de plan de minado) y modificaciones anexo I – D.S. N° 018-92-EM.
- Ley del pequeño productor minero D.S. N° 013-2002-EM. Ley que regula el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos. (Ley N° 28256) 18/06/2004
- Ley General de Salud (Ley N° 26842) 20/07/1997

### **d. Organigrama del proyecto minero**

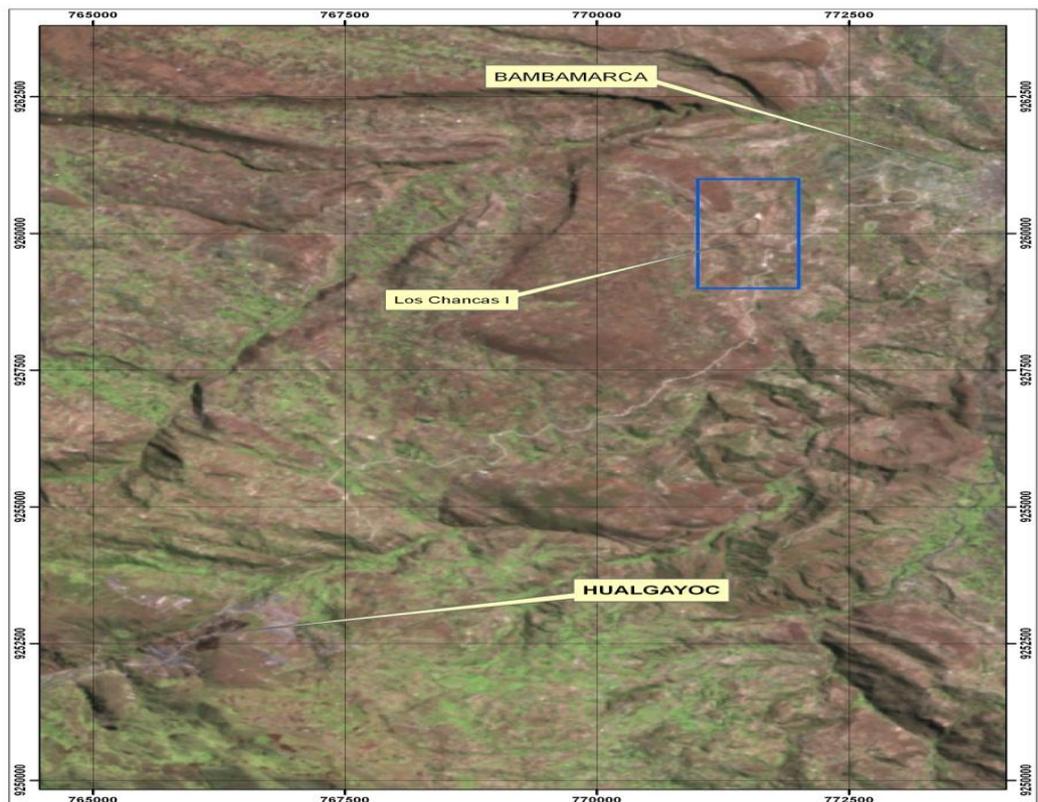
El presente trabajo profesional presenta el siguiente organigrama como se detalla a continuación:

## ESTRUCTURAL ORGANIZACIONAL DEL PROYECTO MINERO LA RESURRECCIÓN E.I.R.L.



## e. Fisiografía

En esta imagen satelital podemos observar la ubicación de la cantera de caliza, junto al pueblo de Bambamarca al Nor Este. Cabe mencionar que la cantera pertenece a la Concesión minera Los Chancas I.



**Figura 2:** Denuncio minero los CHANCAS I – 2016.

**Fuente:** Proyecto minero La Resurrección E.I.R.L - 2016.

## 2.2.2. Geología

### a. Geología regional

En el área de estudio afloran tres formaciones pertenecientes al Cretáceo Superior, estas son Formación Mujarrum, perteneciente al grupo Pullucana, Grupo

Quilquiñan y formación Cajamarca, pertenecientes al grupo Otuzco.

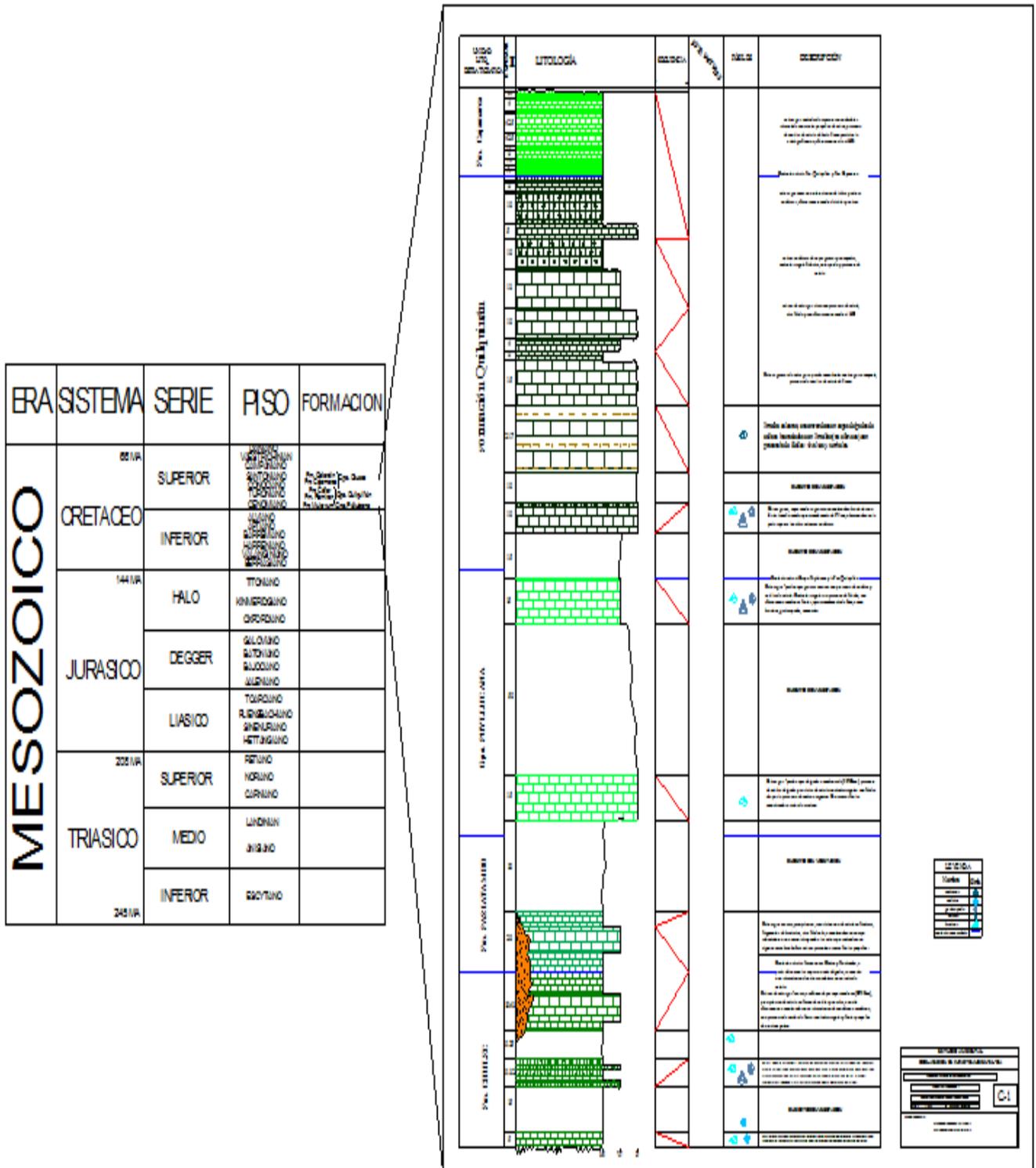


Figura 3: Formación del macizo rocoso - 2016.  
Fuente: Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.

### c. Geología local

El área está constituida por material sedimentario perteneciente a la Formación Cajamarca, que esde secuencias calcáreas del Cretáceo Superior, cuya potencia está determinada hasta los 400 metros; se destaca por su homogeneidad litológica y ocurrencia en bancos gruesos y duros por presentar una estratificación regular y uniforme de coloración grisácea. Consiste de caliza fina bien estratificada en capas delgadas a medianas y pura de color azul que intemperiza a tonos grises claros; por ser de alta pureza prácticamente constituirá una caliza litográfica.

### d. Estratigrafía

La estrategia de la zona comprende rocas sedimentarias del Cretáceo superior. Las rocas que se han observado en la zona de trabajo se agrupan en:

**Formación mujarrum y grupo quilquiñan:** Tafur (1950) reconoció con el nombre de formación Mujarrum y Quilquiñan a dos unidades consecutivas, integradas dentro de los grupos Pulluicana y Otuzco respectivamente; más tarde, Benavides (1956) diferencia en la formación Mujarrum a los miembros Choro Culebra y eleva a la categoría de grupo a la formación Quilquiñan diferenciando dentro de el a las formaciones Romiron y Coñor. En conjunto alcanza un grosor máximo de 500 m.

**Formación Cajamarca:** Nombre dado por Benavides (1956), corresponde a una de las secuencias calcáreas del Cretáceo superior que más destaca topográficamente, por su homogeneidad litológica y ocurrencia en bancos gruesos

y duros, y cuyos afloramientos exhiben una topografía Kárstica con fuertes pendientes y en muchos casos barracos de paredes inaccesibles. Su grosor varía entre los 600 m. y 700 m. Esta unidad yace concordantemente sobre el grupo Quilquiñan y con la misma relación subyace a la formación Celendín; consiste generalmente de calizas gris oscuras o azuladas y macizas. Con delgados lechos de lutitas y margas de los mismos colores; las primeras se presentan en gruesos bancos con escasos fósiles, a diferencia de las segundas que si contienen abundante fauna.

### **2.2.3. Factores críticos del plan de minado**

Los factores críticos son aquellos aspectos fundamentales considerados dentro del plan de minado como factores que ponen en riesgo el proceso productivo de óxido de calcio, por lo cual permanentemente hay que hacer un seguimiento, estableciendo las medidas de control adecuadas. Los factores críticos del proceso productivo de óxido de calcio que se considera en el presente estudio, se detalla: *la materia prima, el proceso de calcinación y el método de almacenamiento.*

#### **Factores críticos en el plan de minado del proyecto minero la Resurrección.**

Dentro del plan de minado del proyecto minero la resurrección encontramos los siguientes factores críticos.

##### **a. Materia prima**

La roca caliza es un mineral que se encuentra en forma natural en la naturaleza y que existe prácticamente en todo

el mundo. Su composición química varía a gran escala entre los yacimientos de diferentes regiones y también entre yacimientos de este mineral en una misma región. Por lo tanto, el producto final para cada depósito de un yacimiento natural será diferente. Para que una caliza sea calificada como conveniente para un proceso de calcinación, debe contener como mínimo un 50 % de carbonato de calcio. En general, toda piedra caliza contiene una mezcla de minerales, tales como  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaO}$ , Hierro, Sílice, Alúmina y rastros de otros componentes. (Álvarez, 2008).

**Tabla 6.** Tipos y características de depósitos de roca caliza.

Depósitos calizos	Tipos de material
Calcáreos	Impuras, contiene arcillas o pizarras.
Arcillosos	Con alto contenido de arcillas.
Carbonaceos	Que contiene material orgánica 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 crepita.
Travertinos	Densas, muy metamorfeseadas y en ocasiones impura, parecida al mármol.
Horstenos	Que contiene cristales separados de horstenos, el cual es variedad amorfa de cuarzo (sílice).
Oolíticos	Que contiene cristales separados de horstenos, el cual es variedad amorfa de cuarzo.
Pisolíticos	Parecidas a las oolíticas pero de granos mayores.
Tizas	Suaves y blandas.
Espato de Islandia	Tiene la forma más pura de carbonato de calcio, altamente cristalina, en ocasiones transparente y normalmente usada 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:** National Lime Association – 2008.

Teniendo como factores crítico la materia prima, cuyos elementos que causan daño son los siguientes:

**Impurezas o contaminantes de la roca caliza:** Como se mencionó líneas arriba, las impurezas en la caliza afectan la calidad de la Cal Viva final. Típicamente la cal viva está compuesta por los siguientes minerales. Carbonato de calcio, carbonato de magnesio, sílice, alúmina, hierro, azufre y trazas de otros minerales. De los minerales enumerados más arriba, sólo el carbonato de calcio y el carbonato de magnesio son de interés. Estos dos minerales constituyen el 85 al 90 % del total de la composición de la piedra caliza. Dos tipos de cal se han producido de estas piedras calizas, Cal Cálcica y Cal Magnésica. La piedra caliza cálcica, con alto contenido de calcio, cuando se calcina, tiene entre un 90 y 95% de CaO y un 1 y 2% de MgO. La Piedra Caliza Magnésica, cuando se calcina tiene entre un 60 y 65 % de CaO y un 35 a 40% de MgO. Este tipo de caliza es llamada piedra caliza dolomítica.

**Estructura cristalina de la roca:** La estructura del cristal afecta el grado de la calcinación y la interna de la Piedra Caliza también determinan el tamaño del cristal de CaO. Los cristales pequeños aglomerados durante la calcinación, formando cristales más grandes, esto causa un encogimiento y reducción del volumen. A mayor temperatura del horno, mayor aglomeración, por lo tanto, un mayor encogimiento del volumen del producto final.

**Densidad de la piedra caliza y estructura del cristal:** La densidad de la piedra caliza y la estructura cristalina están en alguna forma correlacionada. La forma del cristal determina los espacios entre cristales, y esto la densidad de la piedra caliza. Los grandes espacios, permiten un paso fácil de los gases de CO<sub>2</sub> durante la calcinación, pero

esto también dará como resultado una reducción del volumen durante la calcinación. Algunas piedras calizas, debido a su estructura cristalina, quedarán separadas en el proceso de calcinación. Este tipo de piedra caliza no tiene ningún valor para el proceso de calcinación. Otras piedras calizas actuarán al contrario y llegarán a ser tan densas durante la calcinación que ellos impedirán el escape de CO<sub>2</sub> y llegarán a ser no porosas. También, este tipo de piedra caliza no es conveniente para el proceso de calcinación. 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. Algunas características físico - químicas de las calizas se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7:** Tipos y características de la caliza.

Nombre mineralógico	Formula química	Peso molec.	Peso espec.	Dureza	Forma de los cristales
		{g/mol}	{g/cc}	{escala de Mohs}	
Dolomita	CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub>	184,4	2,84	3,5-4,0	Romboédrica
Aragonita	CaCO <sub>3</sub>	100,1	2,94	3,5-4,0	Ortorrómbica
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	100,1	2,72	3,0	Romboédrica
Magnesita	MgCO <sub>3</sub>	84,3	3,00	3,5-4,5	Romboédrica

**Fuente:** National Lime Association – 2008.

### **Análisis geomecánico de la materia prima (Roca caliza).**

Cuando la ingeniería geomecánica interviene en el diseño de un proyecto se debe observar el macizo rocoso como un conjunto de bloques intactos, separados por discontinuidades y tomar en cuenta tanto el material intacto como las propiedades de las discontinuidades. Para entender la relación entre la roca y el macizo rocoso se

debe analizar que las propiedades de la roca intacta serán superadas por las propiedades de las discontinuidades, sin que esto signifique que no se tome en cuenta las propiedades de la roca intacta en el comportamiento del macizo rocoso fracturado. Esto es si las discontinuidades están ampliamente espaciadas y si la roca intacta es débil y alterada, las propiedades de la roca pueden influenciar fuertemente el comportamiento del macizo rocoso. Sin embargo, en general las propiedades de las discontinuidades son de mayor importancia que las propiedades de la roca intacta.

### **Análisis de RQD superficial**

El RQD puede ser calculado, definiendo un RQD superficial a partir de recolección de datos en campo según la siguiente expresión matemática:

$$RQD = 115 - 3.3 \times J_v (\%)$$

Donde:

$J_v$  = Numero de discontinuidades por metro cúbico

$$J_v = J_x + J_y + J_z$$

Para  $J_v < 5 \implies RQD = 100$

El análisis de RQD en el proyecto se hace con el fin de determinar la calidad de roca que se presenta. Asimismo hacer una comparativa con los datos obtenidos del cálculo del RMR según los datos de los testigos analizados en laboratorio.

Una vez obtenido el valor de RQD, la calidad de la roca viene dada según los siguientes parámetros.

#### **RQD (%) Calidad de roca**

- < 25 muy mala
- 25 - 50 mala
- 50 - 75 regular
- 75 - 90 buena
- 90 100 excelentes

#### **Recolección de datos en campo:**

- Medimos un metro cuadrado para determinar la calidad de maciso rocoso.



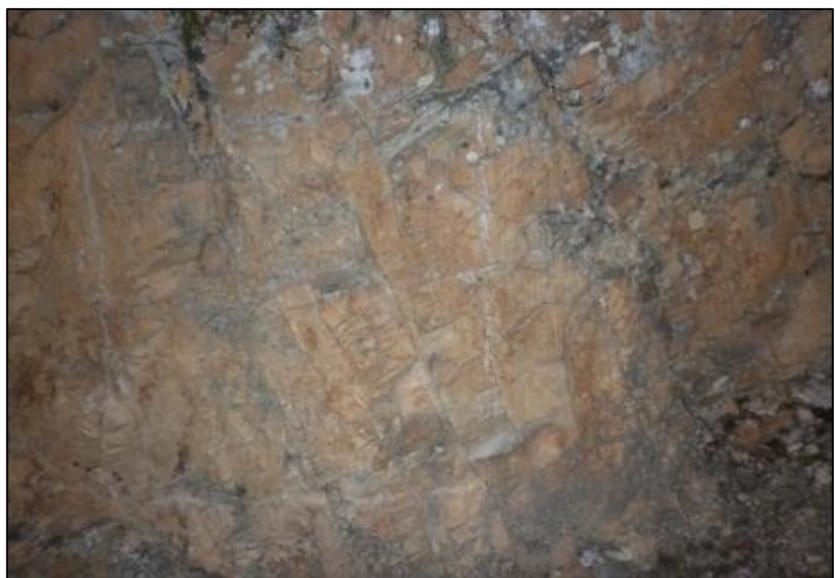
**Figura 4:** Determinación de la calidad del macizo rocoso – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

- Dominio estructural del macizo rocoso.



**Figura 5:** Dominio estructural del macizo rocoso – 2016.  
**Fuente:** Elaboraciòn propia – 2016.

- Grado de meteorizaciòn: moderadamente meteorizado : decoloracion evidente. Superficie meteorada y alterada llegando incluso a presentarse por debajo de la superficie de la roca.



**Figura 6:** Grado de meteorizaciòn – 2016.  
**Fuente:** Elaboraciòn propia – 2016.

- Persistencia: 1.34 m baja persistencia.
- Orientaciòn:

**Rumbo: N48°E**



**Figura 7:** Orientaciòn del macizo rocoso – 2016.  
**Fuente:** Elaboraciòn propia – 2016.

**Buzamiento :S74° E**



**Figura 8:** Orientaciòn del macizo rocoso – 2016.  
**Fuente:** Elaboraciòn propia – 2016.

- Espaciado: 2 – 3 cm muy cerrado.



**Figura 9:** Espaciamiento del macizo rocoso – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

- Resistencia: con dos a tres golpes resistencia la compresion 50-100 MPa (roca fuerte grado R4).



**Figura 10:** Resistencia del macizo rocoso – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

- Rugosidad: Rugosa irregular escalonada.



**Figura 11:** Rugosidad del macizo rocoso – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

- Abertura: 5.8mm (moderadamente ancha).



**Figura 12:** Abertura del macizo rocoso – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

- Relleno: presencia de areniscas.



**Figura 13:** Relleno del macizo rocoso – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

- Resistencia del relleno: disgregable y suave.



**Figura 14:** Resistencia del relleno del macizo rocoso – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

- Humedad y permeabilidad del relleno: clasificación W1 porque los materiales del relleno están muy preconsolidados y secos; es difícil que haya un flujo significativo debido a la muy baja permeabilidad.



**Figura 15:** Humedad y permeabilidad del macizo rocoso – 2016.

**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

- Grado de filtración: tipo III la discontinuidad está seca, pero muestra evidencia de flujo de agua por la presencia de musgos secos.
- Dureza: 3 en escala de mohs.

**Cálculo del RQD según los datos obtenidos en campo:**

$$RQD = 115 - 3.3 \times J_v (\%)$$

Donde:

$$J_v = 10$$

Considerando que para el cálculo de RQD según el número de juntas se considera la fórmula descrita.

$$\text{Para } J_v > 5 \implies RQD = 115$$

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 \times 11(\%)$$

$$\text{RQD} = 115 - 36.3 (\%)$$

$$\text{RQD} = 78.7(\%)$$

$$\text{RQD} = 78.7\%$$

De acuerdo al porcentaje obtenido en el cálculo del RQD significa que el 78.7 % pertenece al rango de tipo de roca regular y buena. Según los parámetros del RQD.

### **Cálculo del RMR según datos del laboratorio.**

#### **Procedimiento para muestreo de testigos de roca caliza.**

**Muestreo con selección aleatoria simple.** Para el siguiente proyecto de investigación utilizamos el tipo de muestreo más conocida y que alcanza mayor rigor científico, garantizando la equis-probabilidad de elección de cualquier elemento, y la independencia de selección de cualquier otro. En este procedimiento se extraen al azar un número determinado de elementos, 'n', del conjunto mayor 'N' o población, de acuerdo a los siguientes pasos determinados por la unidad técnica de control externo – Perú según la guía práctica para la construcción de muestras:

**Tabla 8:** Procedimientos para el muestreo aleatorio simple.

<b>Pasos</b>	<b>Datos obtenidos</b>
1. Definir la población:	La población es el proyecto minero la Resurrección el cual cuenta con tres zonas de producción de óxido de calcio.
2. Verificamos que La unidad de estudio de la muestra debe ser la misma	La unidad de estudio es el proyecto minero la Resurrección el cual cuenta con tres zonas de producción de óxido de calcio

3. Definir el tamaño de la muestra	Usando una distribución Normal, con parámetros: 94% confianza, 3% error y 3% precisión. El tamaño n=6
4. Extraer al azar los elementos	Se extrajo 2 muestras por zona.

**Fuente:** Guía práctica para la construcción de muestras – 2010.

La muestra seleccionada con este método quedará formada por los '6' elementos obtenidos mediante el procedimiento de tablas de números aleatorios que se realizó en campo mediante este tipo de muestreo como se muestra a continuación.

**Tabla 9:** Muestra de estudios proyecto minero La Resurrección E.I.R.L.

Zonas del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L.	Puntos de muestreo	Punto de muestreo
Cochapamapa	A1	A1 – 10
		A1 – 30
Sayapata	A2	A2 – 10
		A2 – 30
Falda	A3	A3 – 10
		A3 – 30

**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

Este muestreo se realizó con permiso y autorización de la empresa y con ayuda de personal que fueron capacitados en temas referentes a muestreos en campo que laboran para la empresa, también con el apoyo de un ingeniero especialista en este tipo de trabajos. Para lo cual se tendrá datos exactos y precisos de la calidad de la roca caliza y el porcentaje de  $\text{CaCO}_3$ , con las muestras disturbadas e inalteradas extraídas se determinó las características físicas mecánicas del material de cimentación y material de desmonte mediante los ensayos estándar de laboratorio. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Lima; bajo las normas de la American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.), se describe a continuación:

- Ensayos de compresión simple.

- Ensayos de propiedades elásticas.
- Ensayos de tracción indirecta.
- Ensayos de propiedades físicas.
- Ensayos de carga puntual.
- Ensayos de corte directo.
- Ensayos de compresión triaxial. (Ver Anexo 2): resultados de análisis de laboratorio.

A continuación mostramos la valorización de la roca de las tres zonas dentro del proyecto con los resultados obtenidos del laboratorio de la universidad nacional de ingeniería (UNI). Utilizando un programa adicional (Geotable), para realizar el cálculo del RMR y una tabla en Excel

#### **Zona 1: Cochapampa.**

Correlaciones y Conceptos Generales		MRMR	
RMR	Q de Barton	GSI	SMR
<b>Rock Mass Rating (Calidad del Macizo Rocoso)</b>			
<b>Resistencia de la Roca Inalterada</b>			
Índice de Carga Puntual (MPa) <input type="radio"/> > 10MPa <input type="radio"/> 4-10MPa <input type="radio"/> 2-4MPa <input type="radio"/> 1-2MPa Resistencia a la compresión uniaxial (MPa) <input type="radio"/> > 250MPa <input checked="" type="radio"/> 100-250MPa <input type="radio"/> 50-100MPa <input type="radio"/> 25-50MPa <input type="radio"/> 5-25MPa <input type="radio"/> 1-5MPa <input type="radio"/> < 1MPa			
Rating 12			
<b>RQD (Índice de calidad de la roca)</b>		<b>Espaciamiento de discontinuidades</b>	
75-90 %		0.6-2m <input type="button" value="Ver Gráfico"/>	
Rating 17 <input type="button" value="Calcular"/>		Rating 15	
<b>Condición de discontinuidades</b>			
Persistencia	3-10m	Apertura	>5mm
Rugosidad	Moderadamente ru		
Relleno	Relleno suave >5m	Meteorización	Moderadamente alterado
<input type="button" value="Ver general"/>			Rating 8
<b>Corrección por orientación de las discontinuidades</b>			
<b>Rumbo perpendicular al eje</b>		<b>Rumbo paralelo al eje del túnel</b>	
A favor del Buzamiento		<input type="radio"/> Tunel o minas <input type="radio"/> Cimentaciones <input checked="" type="radio"/> Taludes	
En contra del Buzamiento		Rating <input type="text"/>	
<input type="button" value="Ver gráfica"/>		<input type="button" value="Ver gráfica"/>	
<b>Presencia de agua</b>			
Caudal en 10m túnel (l/min)	10-25	Gw/G3 (Presión del agua/esfuerzo principal)	0.1-0.2
<input type="button" value="Calcular"/>			Rating 7
Estado	Húmedo o mojado	Rating 59 <input type="button" value="Ver reporte"/>	

**Figura 16:** Cálculo para la valorización del RMR – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

**Tabla 10:** Valoración del macizo rocoso (RMR).

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) – Zona 1: Cochapampa																
Parámetro		Rango de valores y valoraciones							Valoración							
Resist. Comp. Uniaxial (Mpa)		>250 (15)	X	100-250 (12)		500-100 (7)		25-50 (4)		<25(2)<(1)<(0)	1	1 2				
RQD %		90-100 (20)	X	75-90 (17)		50-75 (13)		25-50 (8)		<25 (3)	2	1 7				
Espaciamiento (m)		>2 (20)		0.6-2 (15)	x	0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)		<0.06 (5)	3	1 0				
<b>Condiciones de juntas</b>	Persistencia	<1m long. (6)		1-3m long. (4)	X	3-10m (2)		10-20m (1)		>20mm (0)	4 A	2				
	Apertura														X	
	Rugosidad														X	
	Relleno														X	
	Alteración		cerrada (6)		0.1mm (5)		0.1-1mm (4)		1-5mm (1)		>5mm (0)	4 B	0			
			muy rugosa (6)		rugosa (5)		lig. Rugosa (3)		lisa (1)		espejo de falla (0)					
			limpia (6)		duro<5mm (4)		duro >5mm(2)		suave <5mm (1)		suave >5m (0)	4 C	3			
			sana (6)		lig. Alterada (5)		mod. Alterada (3)		muy alterada(2)		descompuesta (0)	4 D	0			
												4 E	3			
Agua subterránea		Seco (15)	X	Húmedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)		Flujo (0)	5	1 0				
<b>Valor total RMR ( suma de valorización del 1 al 5) =</b>											<b>58</b>					

**Fuente:** Clasificación geomecánica de Bieniawski – 197

**Tabla 11:** Valoración del macizo rocoso (RMR).

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) – Zona 2: Sayapata														
Parámetro		Rango de valores y valoraciones							Valoración					
Resist. Comp. Uniaxial (Mpa)		>250 (15)	X	100-250 (12)		500-100 (7)		25-50 (4)		<25(2)<(1)<(0)	1	1 2		
RQD %		90-100 (20)	X	75-90 (17)		50-75 (13)		25-50 (8)		<25 (3)	2	1 7		
Espaciamiento (m)		>2 (20)		0.6-2 (15)		0.2-0.6 (10)	X	0.06-0.2 (8)		<0.06 (5)	3	8		
<b>Condiciones de juntas</b>	Persistencia	<1m long. (6)		1-3m long. (4)	X	3-10m (2)		10-20m (1)	X	>20mm (0)	4 A	2		
	Apertura													
	Rugosidad													
	Relleno													
	Alteración		cerrada (6)		0.1mm (5)	X	0.1-1mm (4)		1-5mm (1)	X	>5mm (0)	4 B	0	
			muy rugosa (6)		rugosa (5)	X	lig. Rugosa (3)		lisa (1)		espejo de falla (0)			
			limpia (6)		duro<5mm (4)		duro >5mm(2)		suave <5mm (1)		suave >5m (0)			4 C
		sana (6)		lig. Alterada (5)		mod. Alterada (3)		muy alterada(2)		descompuesta (0)	4 D			0
											4 E			3
Agua subterránea		X		Húmedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)		Flujo (0)	5	1 5		
<b>Valor total RMR ( suma de valorización del 1 al 5) =</b>											<b>60</b>			

**Fuente:** Clasificación geomecánica de Bieniawski – 1979.

**Tabla 12:** Valoración del macizo rocoso (RMR).

Valoración del macizo rocoso (R.M.R.) – Zona 3: Faldas														
Parámetro		Rango de valores y valoraciones							Valoración					
Resist. Comp. Uniaxial (Mpa)		>250 (15)	X	100-250 (12)		500-100 (7)		25-50 (4)		<25(2)<(1)<(0)	1	1 2		
RQD %		90-100 (20)	X	75-90 (17)		50-75 (13)		25-50 (8)		<25 (3)	2	1 7		
Espaciamiento (m)		>2 (20)		0.6-2 (15)	x	0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)		<0.06 (5)	3	8		
<b>Condiciones de juntas</b>	Persistencia	<1m long. (6)		1-3m long. (4)	X	3-10m (2)		10-20m (1)	X	>20mm (0)	4 A	2		
	Apertura													
	Rugosidad													
	Relleno													
	Alteración		cerrada (6)		0.1mm (5)	X	0.1-1mm (4)		1-5mm (1)	X	>5mm (0)	4 B	1	
			muy rugosa (6)		rugosa (5)	X	lig. Rugosa (3)		lisa (1)		espejo de falla (0)			
		limpia (6)		duro<5mm (4)		duro >5mm(2)		suave <5mm (1)		suave >5m (0)	4 C			3
		sana (6)		lig. Alterada (5)		mod. Alterada (3)		muy alterada(2)		descompuesta (0)	4 D			1
											4 E			3
Agua subterránea		Seco (15)	X	Húmedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)		Flujo (0)	5	1 0		
<b>Valor total RMR ( suma de valorización del 1 al 5) =</b>											<b>57</b>			

**Fuente:** Clasificación geomecánica de Bieniawski – 1979.

Con los resultados de las investigaciones geotécnicas de campo y el ensayo de laboratorio, se determinó los parámetros físicos y de resistencia para el material que conforma la cantera de roca caliza y los análisis químicos para determinar el porcentaje de  $\text{CaCO}_3$ .

**Tabla 13:** Clase del macizo rocoso.

RMR	100-81	80-61	60 – 41	40-21	20-0
Descripción	I muy buena	I buena	III regular	IV mala	V muy mala

**Fuente:** Clasificación geomecánica de Bieniawski – 1979.

De acuerdo a la clasificación geomecánica de Bieniawski (1979), la calidad de roca es del Tipo III regular.

## **b. Proceso de calcinación**

El proceso de calcinación, es la descomposición de un compuesto mediante el calor suministrado por un agente externo; el compuesto puede ser: carbonato, sulfato, óxidos o sulfuros dobles. El producto de este proceso generalmente es un óxido sólido debido a que durante la calcinación no existe fusión ni volatilización. De la calcinación de carbonato de calcio se obtiene óxido de calcio. (Álvarez, 2008).

**Temperatura del horno calcinador:** 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 determinación de la temperatura correcta en el horno calcinador, dependerá del tamaño de la piedra caliza, del tipo de horno y el tipo de combustible usado. El operador del horno calcinador debe experimentar para determinar la

temperatura exacta necesaria, para el tamaño de la piedra caliza que se utiliza. En general, es mucho mejor usar una temperatura baja con el menor tiempo de residencia posible, para lograr la calcinación completa. Una temperatura alta de calcinación causara un alto encogimiento y una reducción del volumen de la cal. Una alta temperatura, causará también una re-carbonatación de la superficie de los guijarros de cal debido a la presencia de  $\text{CO}_2$  proveniente de la caliza y también producto de la combustión del horno calcinador, lo que hará que la cal no sea porosa, cal que no es conveniente para la hidratación.

**Relación de incremento de la temperatura:** El aumento de la temperatura debe ser gradual y uniforme. Esto es particularmente importante cuando se usan guijarros de piedra caliza de un tamaño grande 4" a 6" (10 a 15 cm). Cuando se calcina piedra caliza de este tamaño, la piedra caliza quedará porosa durante el proceso. A medida que la temperatura se incrementa, la capa exterior de la piedra caliza es calentada a la temperatura de disociación, donde el  $\text{CO}_2$  escapa desde el interior de la piedra caliza, formando a su salida pasajes capilares, lo que hace que la cal quede porosa. Cuando el gas escapa, la piedra caliza disminuye su volumen hasta un 40 %. Esta disminución en volumen restringe el paso de gas desde el centro de la piedra caliza, impidiendo que escapen cantidades adicionales de  $\text{CO}_2$ . También un largo tiempo de residencia, combinará el  $\text{CaO}$  con el  $\text{CO}_2$  que escapa de la piedra caliza y que permanece en el ambiente del horno, formando nuevamente  $\text{CaCO}_3$  (re-carbonatación) a temperaturas sobre  $1350\text{ }^\circ\text{C}$ . Una buena práctica, es usar piedra caliza que tengan un tamaño entre  $1\frac{1}{2}$ " y 2" (4 a 5 cm), en los hornos. Este tamaño de piedra caliza, tendrá un

calentamiento rápido, un corto tiempo de residencia y una mínima cantidad de centros los cuales crean arenillas.

El conclusión los tamaños pequeños de piedra caliza (1 ½” y 2”), son más convenientes para la calcinación en hornos y permiten un tiempo más corto de residencia. Esta menor temperatura de calcinación, permite también un menor consumo de combustible. Sin embargo, tamaños de piedra caliza más grandes y baja temperatura de calcinación son necesarios para hornos verticales de un solo eje y de múltiples ejes. Si el incremento de temperatura es muy rápido, la capa exterior de los pedazos de la piedra caliza se calcinarán muy rápidamente. Con el incremento de la temperatura, la superficie de los pedazos de piedra caliza se encogerá, cerrando los poros creados por el escape de CO<sub>2</sub>. Esto producirá el incremento de la presión interna de la piedra de caliza. Entonces al no poder escapar el CO<sub>2</sub> del interior de la piedra caliza, dará como resultado una explosión de la piedra caliza y su desintegración, produciendo “finos” indeseados, reduciendo la calidad del óxido de calcio CaO resultante.

**Retención en el horno:** El tiempo de retención en un horno, depende del tamaño de la piedra caliza y de la temperatura de calcinación. El tamaño de la piedra caliza, es el elemento más crítico en el proceso de calcinación. Cuando la piedra caliza entra a los hornos, esta es expuesta a los gases caliente dentro del horno. La relación de penetración del calor a la piedra caliza está basada en el  $\Delta T$  (Temperatura de la Piedra v/s la Temperatura de los Gases). Además del  $\Delta T$ , hay que considerar el tiempo que toma el calor para penetrar la piedra caliza. Mientras menor sea el tamaño de la piedra, más corto será el tiempo de

penetración del calor. En el caso de piedra caliza pulverizada o en polvo, este tiempo puede ser reducido a menos de un minuto. Si el tiempo de retención es muy corto, el centro de la piedra caliza se mantendrá como Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), mientras las capas exteriores se convertirán en óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ). Si el tiempo de retención es muy largo, la superficie de las piedras se encogerán y los poros creados por el escape del  $\text{CO}_2$  se cerrarán, causando una superficie impermeable, este tipo de piedra caliza es llamada Cal "Hard Burned" (Cal Quemada) ó "Dead Burned Lime" (Cal muerta). Esta cal no se transforma en lechada de cal en los slaker Standard. Además, que un largo tiempo de retención produce una disminución de la producción y altos costo de manufactura.

**Concentración de  $\text{CO}_2$  en el horno:** A medida que el  $\text{CO}_2$  escapa del interior de la piedra caliza durante el proceso de calcinación, la concentración de  $\text{CO}_2$  se incrementa en la atmósfera interior del horno. Para un proceso apropiado de calcinación, es necesario ventear o extraer el  $\text{CO}_2$  en forma continua. Si el  $\text{CO}_2$  no es venteadado o extraído, la combinación de una alta concentración de  $\text{CO}_2$  con una alta temperatura de calcinación producirá una re-carbonatación del  $\text{CaO}$  (en la superficie de las piedras) y se convertirá nuevamente en  $\text{CaCO}_3$ . Además, el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{CO}$  reaccionarán con las impurezas de la piedra caliza, impurezas que son parte de los componentes inertes de la piedra caliza.

**Tamaño físico de la piedra caliza por tipo de horno:** Dependiendo del tipo de horno que se utilizará para la

calcinación de la piedra caliza, el tamaño de la piedra que se cargará será diferente.

En el caso se va a detallar los tipos de hornos que se utilizan para la obtención de óxido de calcio como:

**Horno vertical:** En este tipo de horno la piedra caliza se mueve hacia abajo, y los gases hacia arriba a través de la piedra caliza, por esto la piedra caliza deben tener un tamaño grande para proporcionar las cavidades suficientes para que los gases de la combustión suban a través de la piedra caliza en el horno. Este tipo de horno usa piedra caliza con un tamaño usualmente entre 5" y 8" (13 – 20 cm). En los hornos verticales el incremento de temperatura debe ser lento y por lo tanto el tiempo de residencia alto. Típicamente, los hornos verticales son operados a temperaturas entre los 900 y 1000 °C.

**Horno horizontal:** En los hornos de tipo vertical, el cuerpo del horno gira (rota), permitiendo que la piedra caliza, ruede y exponga toda su superficie a los gases calientes. El tamaño típico de piedra caliza a usar en este tipo de horno está entre 1 ½" y 2" (4 a 5 cm). Siendo el tamaño ideal para este tipo de horno, una piedra caliza entre ½" y ¾" (1,25 a 2.0 cm). La uniformidad del tamaño de la piedra caliza para cargar el horno horizontal rotatorio es lo más importante para el proceso de calcinación uniforme, pero desde un punto de vista práctico, el tamaño pequeño es caro, debido a los múltiples harneados requeridos. Los tamaños pequeños de piedra caliza tales como ¼" (0,6 cm) y menores con un cierto porcentaje de finos en un horno horizontal, estos por su peso tenderían a depositarse sobre la masa, reduciendo la exposición de las partículas a los gases calientes. Este proceso dará como resultado una

exposición desigual a los gases calientes, reduciendo la calidad de la cal viva. En los hornos verticales la presencia de piedra caliza en polvo, bloqueará los espacios entre las piedras, esto interfiere con el paso de los gases calientes y por lo tanto la transferencia de calor, causando una calcinación desigual. Además las partículas pequeñas de piedra caliza, menos de 1/8" (0,3 cm) tienden a desintegrarse, generando polvo el que debe ser removido por un colector de polvo.

**Tipo de combustible usado:** La mayor cantidad de calcinadoras usan como combustible petróleo, carbón o gas natural. Típicamente un horno del tipo vertical usa como combustible petróleo o gas natural y los hornos de tipo horizontal usan carbón. Sin embargo, cada tipo de horno puede usar cualquiera de los combustibles mencionados. El carbón generalmente es pulverizado e inyectado a la cámara de combustión. Tanto el petróleo como el carbón contienen cierto porcentaje de azufre o compuestos de azufre. Estos varían desde 0.5 % hasta 3 %. A una temperatura apropiada el azufre se combina con el CaO, produciendo sulfuro de calcio o sulfato de calcio. Esto sucede generalmente en la superficie de los guijarros de CaO y producen entonces de que estos guijarros de CaO no sean porosos. Por lo tanto estos guijarros no son apropiados para el proceso de apagado. Además, un alto porcentaje de ceniza en el carbón dará como resultado acumulaciones de ceniza en los refractarios del horno, interfiriendo con el flujo de la piedra caliza dentro del horno. El horno deberá ser periódicamente enfriado y la ceniza depositada en los refractarios retirada manualmente, lo que produce un alto costo de operación. El gas natural es el combustible más limpio y es el más usado en los hornos

verticales. Para calcinar piedra caliza y obtener cal de grado alimento, el gas natural debe ser el combustible elegido.

**Pre-calentamiento y enfriado:** La calcinación de la Piedra Caliza es muy enérgica e intensiva y consume una considerable cantidad de combustible. La mayor parte de la pérdida de energía viene de la descarga de los gases del horno. Para mejorar la eficiencia del consumo de combustible, la industria ha ideado los siguientes procesos: Los gases calientes de salida son usados para pre - calentar la piedra caliza antes de entrar al horno. Esto no solo recupera una parte sustancial del calor de los gases de salida (escape), sino que reduce también el tiempo de residencia dentro del horno, reduciendo el tamaño del horno. Cuando la piedra caliza ha sido calcinada y sale del horno, está al rojo vivo y con una temperatura de alrededor de 1200 °C. Esto representa una sustancial fuente de calor. Para recuperar parte de este calor, el aire fresco de combustión se usa para enfriar la cal viva, el aire fresco calentado resultante, es alimentado dentro del horno. Este aire calentado mejora la eficiencia del consumo del combustible por la recuperación de parte del calor de desecho. La calcinación de la piedra caliza es realizada de forma continua, evitando así el calentamiento y enfriamiento del horno calcinador. Esta calcinación continua reduce el consumo de combustible y minimiza la degradación de las líneas refractarias del horno calcinador.

Bien entonces una vez establecido estos procedimientos que se deben seguir para el proceso de calcinación se determinó que los elementos dentro del proceso que no estaban cumpliendo según lo establecido son los

siguientes a los cuales se debe realizar controles adecuados y así poder minimizar los daños que afecta la productividad de óxido de calcio.

Estos elementos son los que se muestra a continuación:

- 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 atmósfera del horno. (CO<sub>2</sub> residual).

**Temperatura del horno durante el periodo de calcinación.** La temperatura del horno afecta la calidad del CaO producido. Tamaños de partícula muy pequeños con gran superficie específica, es el producto final más deseable de óxido del calcio. El control de temperatura se realizar con el tamaño específico en la partícula, el tiempo de residencia de calcinación y el control en forma directa de la temperatura es de forma obligatoria por lo cual la temperatura debe estar entre los 900 y 1000 °C, 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 y también se debe tener en cuenta la capas de roca caliza dentro del horno debe estar de 30cm y de carbón en 10 cm y se debe realizar un control adecuado por parte del supervisor de hornos para que así se cumpla con lo establecido y no perjudique al proceso mediante la utilización de instrumento que mida el grado de la temperatura.

**Tiempo de residencia de la cal en el interior del horno.** Durante el proceso de calcinación, el tiempo de residencia de la caliza, CaCO<sub>3</sub> 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  $\text{CO}_2$  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, entonces dentro del proceso el tiempo de residencia con una temperatura que este entre 900 y 1000 °C, debe de ser entre 3 o 4 días respectivamente para que así no afecte en la reducción de volumen de producción.

**Concentración del anhídrido carbónico en la atmósfera del horno. ( $\text{CO}_2$  residual).** 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  $\text{CaCO}_3$  y el gas de  $\text{CO}_2$  se suelta desde la caliza, para producir CaO disponible, se debe entregar al  $\text{CO}_2$  la salida o escape necesario del horno hacia afuera. El CaO disponible tiene la afinidad de absorber humedad y  $\text{CO}_2$  para convertirse en  $\text{CaCO}_3$ . El efecto de esta conversión es más pronunciado en las partículas pequeñas de CaO debido a la mayor superficie específica de éstas, entonces para evitar estos efectos se considera una granulometría adecuada que este entre 2" y 4" pulgadas de diámetro y que no sea menor ni mayor para cumplir con lo establecido, también la extracción y eliminación de  $\text{CO}_2$  se realizara cuando se retire el producto por toneladas y se realimente los hornos porque todo sigue un proceso.

### c. Método de almacenamiento

Una vez calcinada la piedra caliza y convertida en cal viva, se deben tomar una serie de precauciones ya que la cal viva ( $\text{CaO}$ ), es un producto químico muy susceptible a la humedad ambiente (higroscópico). La cal viva debe ser almacenada en zonas cerradas sin ingreso de agentes físicos externos que perjudique a la cal (aire, el agua y otros), ya que en su presencia y contacto se produce lo que se llama “Apagado Aéreo”, proceso que deteriora la calidad de la cal viva. El “Apagado Aéreo”, es el proceso en el cual la cal viva ( $\text{CaO}$ ), a la temperatura ambiente, capta la humedad presente en el ambiente, convirtiéndose en Lechada de Cal  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . La cal apagada aéreamente no es muy reactiva y tiene partículas de hidróxido de calcio muy grandes, se recomienda que la cal viva sea tenida por el fabricante el menor tiempo posible para minimizar el “Apagado Aéreo”. El apagado aéreo toma tiempo, no es una reacción rápida. Aunque la humedad del aire eventualmente hará un apagado aéreo de la cal, este tomará días o semanas de exposición para que esta reacción química pueda suceder. En los sistemas donde quede cal remanente en las zonas de almacenamiento, por semanas y/o meses, el Apagado Aéreo tendrá un efecto evidente en la calidad de la cal hidratada. Sin embargo, cuando el consumo de cal es alto y varios camiones con cal son descargados diariamente, el tiempo de exposición de la cal a la humedad del aire es muy corto para afectar evidentemente la calidad de la cal. La exposición de la cal viva a una atmósfera que contenga un alto porcentaje de  $\text{CO}_2$ , debe ser evitado también. El  $\text{CO}_2$  presente en el aire será absorbido por la cal viva y se re-convertirá a su forma original de caliza  $\text{CaCO}_3$ . Esta conversión se acelera con

temperaturas elevadas. Una degradación y reducción del tamaño de los guijarros toma lugar, debido al peso del material que es almacenado en zonas de almacenamiento que contienen una capa de recubrimiento en las paredes. Una cal viva apropiadamente calcinada es muy porosa y suave, y puede ser molida presionándola entre dos dedos. Este tipo de cal viva se degradará fácilmente durante su almacenamiento y transporte al sitio de consumo, y también pasará lo mismo, durante el proceso de carguío manual y neumático al interior de las zonas de almacenamiento. En la medida que las partículas de cal viva se hacen más pequeñas por su manipulación, el área superficial de las partículas de cal se incrementa. Este incremento de área superficial de las partículas cuando son expuestas a la humedad del aire, también incrementa el Apagado Aéreo, dando como resultado una disminución de la calidad de la cal viva. (Álvarez, 2008).

### **Controles de los factores críticos en el plan de minado del proyecto minero la Resurrección E.I.R.L.**

Los controles aplicables para los factores críticos que se detectaron en el proyecto minero la Resurrección E.I.R.L, se detallan a continuación.

**Tabla 14:** Controles adecuados a los factores críticos del plan de minado del proyecto minero la resurrección E.I.R.L.

<b>Factores críticos</b>		<b>Controles</b>
<b>Materia prima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impurezas de la roca caliza.</li> <li>- Cristalización de la roca caliza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seleccionar las zonas más ricas dentro del proyecto en carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>).</li> <li>- Establecer la calidad del macizo rocoso del proyecto.</li> <li>- Capacitar al personal que labora en el proyecto.</li> <li>- Limpieza adecuada a la roca caliza antes de ser calcinada.</li> </ul>
<b>Proceso de calcinación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura.</li> <li>- Presencia gases</li> <li>- Tiempo de calcinación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Granulometría de la roca caliza.</li> <li>- Establecer las capas adecuadas de carbón y roca caliza.</li> <li>- Liberación de gases.</li> <li>- Cumplir con los tiempos programados del ciclo operativo.</li> </ul>
<b>Método de almacenamiento.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agentes externos (agua, aire y humedad)</li> <li>- Tiempo de almacenamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecer un almacenamiento seguro.</li> <li>- Cumplir con los tiempos establecidos de almacenamiento del CaO, dentro del plan de minado del proyecto.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia – 2016.

## Detalles de controles.

### Materia prima:

- **Seleccionar las zonas más ricas en carbonato de calcio.**  
Según el plano de método de explotación de roca caliza que se encuentra en el (anexo 5), tenemos los siguientes datos de acuerdo a los análisis de la calidad de la roca caliza y análisis químicos que se obtuvieron, tendremos el porcentaje de CaCO<sub>3</sub> para analizar qué zonas debe tener en cuenta que tiene más impurezas que afecta la calidad de la roca, como se muestra a continuación:

**Tabla 15:** Análisis de zonas con mayor porcentaje de CaCO<sub>3</sub>.

Zonas del proyecto	% de carbonato de calcio	% de impurezas
Cochapampa	97%	3 %
Sayapata	95%	5 %
Faldas	87%	13%

**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

Una vez determinado las zonas más ricas del proyecto minero en carbonato de calcio, se debe ver o buscar alternativas de extracción específicamente de estas zonas, como se detalla el efecto que ocasiona estas impurezas dentro de la roca caliza en la página 39.

- **Establecer la calidad del macizo rocoso del proyecto minero.**  
una vez realizadas los análisis de las características físicas de las propiedades del macizo rocoso se determinó que calidad de roca caliza existe en el proyecto de acuerdo al análisis realizado en campo del RQD y valorización del RMR mediante análisis en el laboratorio de la universidad nacional de ingeniería (UNI) en lima.
- **Capacitación al personal que labora para el proyecto:** se realizó una capacitación de 4 horas al personal, el tema fue “identificación y separación de la roca caliza con presencia de

cristales”, que afecta la reducción de volumen de producción durante el proceso de calcinación.

- **Limpieza y retiro de material orgánico de la roca caliza.** Se realizará el procedimiento adecuado de retiro de material orgánico presente en la roca caliza por el personal que labora para el proyecto, para así no afecte la calidad de producto obtenido.

#### **Proceso de calcinación.**

- **Granulometría de la roca caliza.** La granulometría adecuada establecida para el proceso de calcinación debe estar en 2 y 4 pulgadas de diámetro, para así poder cumplir con lo establecido según los procedimientos mencionados anteriormente, lo cual va a ayudar a tener una buena calidad del producto final, cumplir con el volumen de producción establecido y reducir la presencia de gases.
- **Establecer las capas adecuadas del carbón y la roca caliza.** Las capas establecidas son las siguientes para 30 cm de espesor de roca caliza se colocará 10 cm de espesor de carbón antracita, cuyo objetivo es cumplir con la temperatura adecuada que debe estar entre 900 y 1000 °C, para el proceso y cumplir con el tiempo establecido durante la calcinación y así poder mejorar la calidad y poder evitar la reducción de volumen de producción.
- **Liberación de presencia de gases como CO<sub>2</sub> y CO.** La liberación de gases se va a realizar una vez cuando se ha logrado tener el producto calcinado, para posteriormente realizar la descarga respectiva, lo cual se va a descargar el horno por toneladas cuyo objetivo es liberar los gases presentes durante la descarga y así se pueda realimentar siguiendo un ciclo operativo. Lo cual se evita que afecte la reducción de volumen de producción.

- **Cumplir con los tiempos programados del ciclo operativo.** El tiempo de calcinación es de 3 a 4 días respectivamente según el tonelaje de capacidad de hornos, el tiempo es importante porque ayuda a tener un buen producto y a cumplir con la producción establecida, en el caso que no se realice un control adecuado al tiempo de calcinación perjudica en reducción de volumen de producción y mala calidad de CaO.

#### **Método de almacenamiento.**

- **Establecer un método seguro.** Se debe establecer un lugar adecuado bien protegido, debe estar cubierto con material polietileno todas las paredes para así evitar que el producto tenga contacto con agentes físicos externos que afecta la calidad del producto final y conversión del producto en cal aérea, cal apaga y cal muerta. Se almacenara el producto final en sacos de polietileno de 35 kg de capacidad de acuerdo a la granulometría del producto.
- **Cumplir con los tiempos establecido de almacenamiento del CaO, dentro del plan de minado.** Teniendo en cuenta los procedimientos mencionados anteriormente el producto debe estar almacenado en un periodo máximo de 3 a 5 días sino se cumple con lo establecido, perderá el porcentaje de calidad obtenida.

#### **2.2.3. Productividad de óxido de calcio (CaO)**

La productividad de óxido de calcio se define como la cantidad de producción de óxido de calcio (producto), en relación al insumo, materiales y recursos utilizados para la parte operativa de los procesos, por unidad de tiempo. Mide la eficiencia de producción por factor

utilizado, que es por unidad de trabajo o capital utilizado. El índice de productividad determina la rentabilidad del producto a lo largo del tiempo, para medir este índice se utiliza la siguiente formula: (Saavedra, 2013).

**Índice de productividad de la actividad** = producción de la actividad / costo de la actividad.

**a. Estimación de reservas**

**Reservas:** El Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, realizando ensayos en los laboratorios de la UNI se tiene una ley de caliza (CaCO<sub>3</sub>): 93.10 %.

**Muestra:** En la zona perimetral que se explotara se realizó 3 Zonas, cada zona está conformada por dos franjas de área en vista de planta encontrada en un 97.35%. En base a los datos obtenidos se procedió a la cubicación, cuyos resultados nos permiten realizar el planeamiento a corto plazo. Se tiene 3380112.1545TM de piedra caliza como reservas. Teniendo los volumen de toda la zona a explotar en el año 2016, se concluye que el proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, tiene en reservas probadas 1 286 353.93 m3 de piedra caliza con un peso específico de 2.65 TM/m3.

Cálculo de la ley promedio ponderado:

$$\text{Ley prom. Poderado} = \frac{(ley_{c-1} \times A_{c-1}) + (ley_{c-2} \times A_{c-2}) + \dots + (ley_{c-8} \times A_{c-8})}{A_T}$$

$$L = 93 .10\% \text{ de CaCO}_3$$

La producción del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, de acuerdo a lo declarado en SUNAT (IQBF) y DREM, considerando que

la piedra caliza al ser procesada por los hornos de calcinación se tiene una merma de 45% aproximadamente. Bien entonces teniendo la cantidad de reservas probadas que es 1 286 353.93 m<sup>3</sup> con un peso específico de 2.56 Tn/m<sup>3</sup>, se extraerá trabajando al 100% anualmente 60326.00 Tn de roca caliza de las cuales se procesa 36576 Tn de óxido de calcio. Para lo cual tenemos que durante el año 2016, se reportaron como ventas finales 32190.00 Tn de cal fina y gruesa. Entonces el producto alcanzo una demanda del 87.75 %.

**Tabla 16:** Produccion de CaO por tonelada de roca caliza.

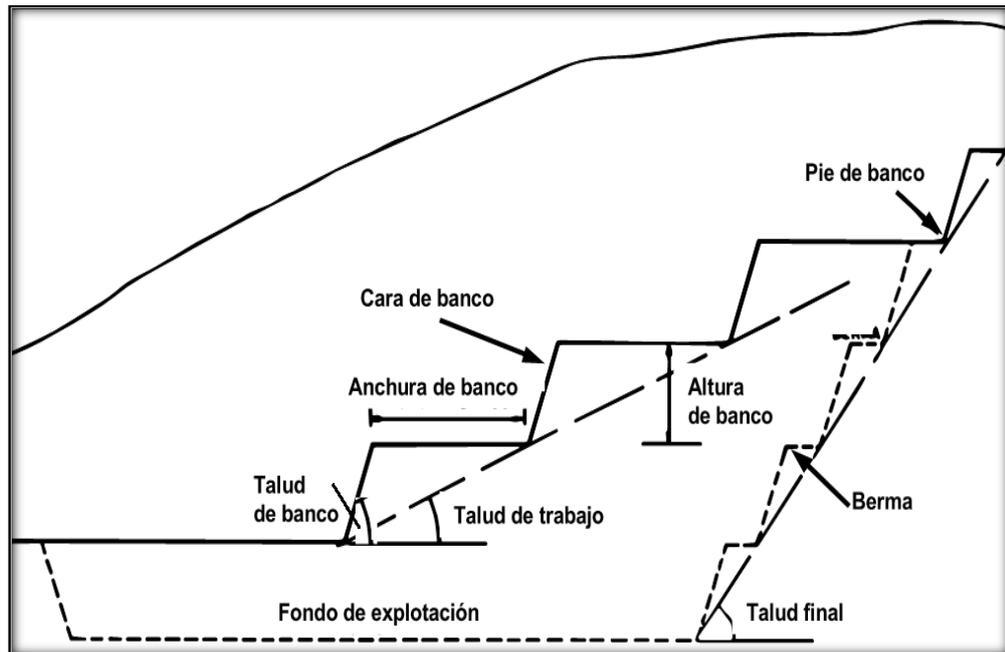
Año	Tn de roca caliza	Tn CaO producidas	Tn de CaO vendidas	Porcentaje de productividad	Demanda
2016	60326.00	34848.00	32190.00	95 %	87.75 %
2015	67220.00	33193.00	31680.00	63 %	60.00 %
2014	63531.00	33013.00	31104.00	67 %	63.13 %
2013	64321.00	34192.00	31392.00	54 %	49.58 %
2012	62171.00	31234.00	29952.00	45 %	43.15 %

**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

## b. Ciclo de minado de óxido de calcio

Dentro del ciclo de minado de óxido de calcio se tiene en cuenta las siguientes actividades que se realizan como:

**Extracción de roca caliza:** La extracción de roca caliza, como primera fase para el desarrollo de los procesos productivos, Se desmonta el área a trabajar (se retira el top soil) y se lleva a cabo la extracción de la roca caliza desde yacimiento mediante un proceso mecánico, las canteras cuentan en su formación con capas de 2.5 m hasta 5 metros. Debido a que la caliza se encuentra expuesta en la superficie, el método de explotación que se usa corresponde a una explotación de tajo abierto. La particularidad de este método es que de acuerdo a la topografía el método de explotación consiste en realizar cortes en forma de tajadas de arriba hacia abajo, por medio de banqueos.



**Figura 17:** Método de explotación de la roca caliza - 2016.  
**Fuente:** Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.

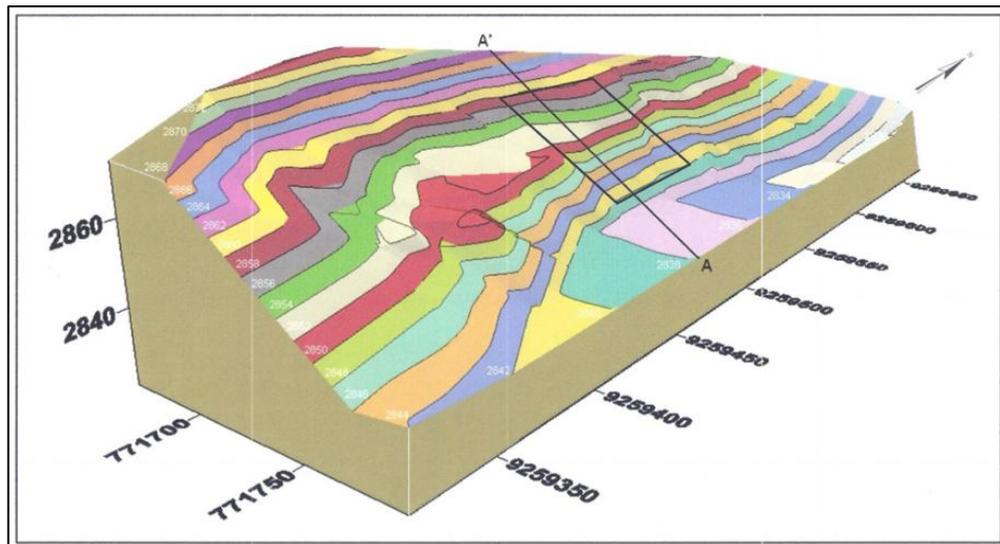
**Parámetros de diseño:** Se efectuó el análisis de estabilidad física para un banco 2.5 m. de altura y ángulo de  $68^\circ$  con un ancho de banco de 3 m, densidad de la caliza en banco: 2,65 t/m<sup>3</sup>, longitud de frentes: 6 m, ancho de corte: 3 m, ángulo de talud final:  $68^\circ$ , diámetro de perforación: 32 mm, malla de perforación: 0.85x0.85m, profundidad de perforación/tal: 1.25 m, altura de banco: 2.5m, explosivo a utilizar: dinamita, factor de carga explosiva: 0,033 kg/tm, velocidad promedio de penetración: 20 m/hr. Las características físicas del yacimiento permiten una explotación con el requerimiento de perforación y voladura, mediante el empleo de mano de obra y algunas veces cuando se requiera se usará maquinaria para el desbroce. Las operaciones unitarias que se desarrollan se detallan a continuación:



**Figura 18:** Operaciones unitarias de roca caliza - 2016.  
**Fuente:** Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.



**Figura 19:** Reservas en la cantera de roca caliza  
**Fuente:** Elaboración propia - 2016.



**Figura 20:** Reservas de caliza para perforación – 2016.  
**Fuente:** Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.

**Perforación:** La perforación y voladura se inicia con el diseño de malla de perforación, el tipo de malla de perforación es cuadrada porque se basa en la dimensión del burden y espaciamiento de los taladros y la perforación se realiza con perforadoras manuales de marca Boch, el número de taladros es de acuerdo a la fragmentación que se requiere.



**Figura 21:** Malla de perforación en la cantera de roca caliza – 2016.  
**Fuente:** Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.

**Diseño de malla:** Se desarrolló una malla de 21 taladros como se describe a continuación.

**Tabla 17:** Diseño de malla de perforación.

Datos del banco	
Altura de banco(m)	1.25
Burden (m)	0.85
Espaciamiento (m)	0.85
Longitud del taladro (m)	1.25
Diámetro del taladro (cm)	3.2
Taco (m)	
Área de rotura (m <sup>2</sup> )	0.7225
Peso específico de la caliza (TM/m <sup>3</sup> )	2.65

**Fuente:** Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.

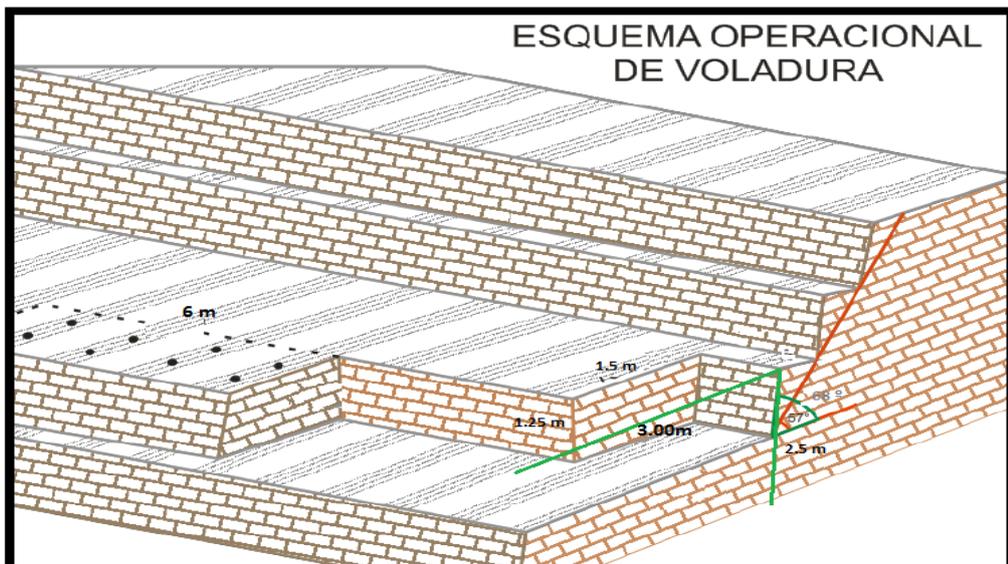
Se perfora 21 taladros por disparo con una profundidad de 1.25 m así queda listo los taladros para cargar posteriormente estos disparos se realiza cuando en la cantera nos encontramos con roca compacta, de no ser así se saca directamente con barreta y luego se chanca con combo manualmente.

**Voladura:** Para la voladura se cargan los taladros previo cálculo de carga, nos guiamos del plan de minado del año 2016 de la empresa Resurrección E.I.R.L. la voladura se va a realizar cuando nos encontramos con bloques de roca caliza que no se pueden extraer manualmente, durante el año 2016 se realizó un total de voladuras de 21 por mes aproximadamente. Cuando la piedra caliza está en conglomerados que sucede en su mayoría, no se necesita explosivo solo se requiere barretas, picos y combos para extraer la piedra caliza de la cantera.

Las voladuras se planifican de acuerdo a sistema productivo de extracción de roca caliza para bancos se planifican de acuerdo a los procedimientos establecidos dentro del plan de minados del proyecto cada 1 día y para bases también se realiza de acuerdo a lo establecido dentro del plan de minado que viene a ser cada 1 y 2 días.

DATOS DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS POR TALADRO					
	TALADRO	DÍA	MES	AÑO	
DINAMITAS POR TALADRO (Pza)	1	21	525	2100	UNID
FULMINANTES (Pza)	1	21	525	2100	UNID
MECHA LENTA (pies)	5	105	2625	10500	PIES
Kg DE DINAMITA POR DÍA	1.68	→	0.033		Kg/TM
# DE TALADROS DÍA	21				
DIAS TRABAJADOS - MES	25				
					0.0167
PRODUCCION DE CALIZA / TALADRO	2.39				TM
PRODUCCION DE CALIZA /DÍA	50.26				TM
PRODUCCION DE CALIZA / MES	1256.47				TM
PRODUCCION DE CALIZA / AÑO	5026				TM
FACTOR DE POTENCIA	0.033				Kg/TM

**Figura 22:** Esquema de operación de voladura – 2016.  
**Fuente:** Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.



**Figura 23:** Esquema de operación de voladura – 2016.  
**Fuente:** Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.

Para almacenar el material explosivo, el Proyecto Minero La Resurrección, para toda la operación, se dispondrá de un polvorín alquilado de la Séptima Brigada de Infantería Zepita, Cajamarca ubicada en el Distrito de Baños del Inca de la provincia de Cajamarca.

**Tabla 18:** Diseño de polvorín para material explosivo.

<b>Diseño de polvorín para material explosivo</b>	
Área (m <sup>2</sup> )	10 metros cuadrados
Dimensiones de Polvorín	05 metros de largo por 02 metros de ancho
Volumen en (m <sup>3</sup> )	20 metros cúbicos

**Fuente:** Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.

Para el transporte de explosivos desde el cliente donde se adquirirá se realizará por empresas, que tengan todos los permisos y autorizaciones, SUCAMEC, SUNAT; etc.

**Durante el uso y manipuleo de explosivos en las labores:** La manipulación del material explosivo solamente se realizará por personal autorizado que cuente con la capacitación y el carnet de manipulador de explosivos otorgado por la autoridad competente (SUCAMEC).

Para realizar una voladura se cuenta con un sistema de gestión siguiendo todos los procedimientos adecuados, teniendo en cuenta todas las etapas críticas de alto riesgo y estableciendo todos los controles adecuados ya establecido dentro del plan de minado del proyecto minero la Resurrección.

**Desquinche de rocas:** Una vez realizado la voladura se procede a desquinchar o desatar las rocas sueltas presentes en el área, es el conjunto de prácticas y procedimientos que permite en primer lugar, detectar las rocas sueltas en el talud, frente y paredes (de ser necesario) de la labor minera para luego proceder a palanquearla y hacerla caer, mediante el uso de una barretilla de desatado o un equipo de desatado. Aprovechando la gravedad del talud se acarrea hasta la parte inferior para luego continuar con el siguiente proceso.



**Figura 24:** Desatado y desquinche en la cantera – 2016.

**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

**Fragmentación primaria de roca caliza:** Teniendo en cuenta que las rocas fragmentadas producto de la voladura son irregulares se procede a realizar una fragmentación primaria en cantera, hasta un tamaño de 6 a 15 pulgadas para poder alimentar posteriormente a los hornos de calcinación. Con el propósito de facilitar a los trabajadores el carguío manual a la unidad de transporte (volquete de 8Tn) y que la fragmentación secundaria en la zona de alimentación de hornos tenga mayor facilidad.



**Figura 25:** Fragmentación primaria de la caliza – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

**Transporte de roca caliza a zona de alimentación de hornos:** El transporte se realiza de la cantera de extracción de roca caliza a la zona de alimentación de hornos, con el apoyo de un volquete de capacidad 8Tn, la distancia de la ruta aproximadamente es 50 m.



**Figura26:** Roca caliza chancada en cantera. (Chancado primario) - 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia - 2016.



**Figura 27:** Transporte interno en la cantera roca caliza chancada – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

**Alimentación de hornos:** Para la alimentación de hornos se debe considerar parámetros de control de calidad como el tamaño de fragmentación de roca caliza, la limpieza de la roca, el espesor de la capa de roca y la capa de carbón, el poder calorífico del carbón, debido a que es aquí donde la roca caliza se transforma en óxido de calcio (cal) y todo depende de los materiales, insumos y la forma de desarrollar la tarea para obtener un producto de calidad.

**Fragmentación secundaria de roca caliza:** La fragmentación de la roca se realiza manualmente haciendo uso de pequeños combos, la roca debe cumplir con el tamaño adecuado es decir no menos de 2 pulgadas de diámetro ni mayor a 4 pulgadas de diámetro y de esta manera el proceso de calcinación será completo por lo contrario el resultado final será roca caliza semi-calcinada dura. La roca siempre debe ser homogénea.

**Fragmentación de carbón antracita:** Como en todo proceso de calcinación es indispensable el combustible, en este caso se utiliza carbón antracita con un alto poder calorífico para realizar el proceso, el carbón es un insumo que se obtiene comprando de un tercero, se almacena en la zona de acopio y luego se realiza una fragmentación manual de acuerdo al volumen que se requiere por día.

**Alimentación de hornos de roca caliza y carbón antracita:** La alimentación de hornos se realiza en capas alternadas; una de roca y una de carbón el espesor de la capa de roca es aproximadamente 30 cm y el espesor de la capa de carbón es de 10 cm (Se alimenta en proporción con el carbón antracita, se recarga con 12 y 17 carretillas de piedra caliza por 3 y 4.5 carretillas de carbón antracita). En la actualidad se cuenta con 10 hornos en diferentes zonas como se muestra en el diagrama de flujo de producción de cal. De los cuales 4 son de capacidad máxima 8 Tn, 2 de 12 Tn, 2 de 25 Tn, 1 de 15 Tn y 1 de 6 Tn.



**Figura 28:** Fragmentación secundaria y recargada de hornos - 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia - 2016.



**Figura 29:** Fragmentación secundaria y recargada de hornos - 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

**Capacidad de hornos:** Número de Hornos: 10 hornos, 07 hornos grandes y los otros 03 son pequeños, todos los hornos sin excepción se encuentran en los terrenos y concesión de la empresa Resurrección EIRL. Ver plano de distribución. Dimensiones de cada horno; son de características artesanales y semi industriales de forma circular, construidos a base de cemento y ladrillos en forma de adobe; se tiene 05 hornos; 03 de igual dimensión y 02 de otras dimensiones como se detalla a continuación.

**Tabla 19:** Hornos de producción de óxido de calcio (CaO).

<b>Hornos de producción del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L</b>							
Unid.	Dimensiones		material	capacidad	Producción		
	H	D			Día	mes	año
3	10 m	2.20 m	Adobe, concreto y ladrillo.	24 TN/D	24TM	576 TM	6912 TM
2	12m	3m	Adobe, concreto y ladrillo.	12TM/D	24TM	576TM	6912TM
2	15m	3.20m	Adobe, concreto y ladrillo.	50TM/D	50TM	1200TM	14400TM
1	10m	2.20m	Adobe, concreto y ladrillo.	8TM/D	8TM	192TM	2304TM
1	9.5m	2m	Adobe, concreto y ladrillo.	6TM/D	6TM	144TM	1728TM
1	12m	2.50m	Adobe, concreto y ladrillo.	15TM/D	15TM	360TM	4320TM

**Fuente:** Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.

**Tabla 20:** Producción Total de Óxido de Calcio día/mes/año.

Predio	TN Día	TN Mes	TN Año
Cochapampa	48	1152	13824
Sayapata	64	1536	18342
Falda	15	360	4320
<b>Total</b>	<b>127</b>	<b>3048</b>	<b>36486</b>

**Fuente:** Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016.

**PRODUCCION ANUAL = 36,486.00 TM/ Año (TOTAL)**

**Calcinación:** Calcinación es el proceso que pasa la roca caliza para convertirse en óxido de calcio (cal) se realiza en hornos de adobe, ladrillo y concreto, la temperatura mínima para que se desarrolle el proceso es superior a 950°C. El proceso de calcinación dura de 3 a 4 días, es constante luego de haber iniciado el fuego la temperatura se mantiene mientras se recarga secuencialmente el horno, el proceso se desarrolla en forma ascendente debido a que cuando se enciende un horno se inicia el fuego en la parte inferior.



**Figura 30:** Proceso de calcinación - 2016.

**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

**Enfriamiento:** Después de la calcinación se obtiene el producto final se realiza el desquinche de hornos con el uso de defensas para luego dejar el producto enfriar, donde se libera gases y calor y de esta manera el personal se exponga al producto para realizar el siguiente proceso. Evitando de este modo un contacto dañino al personal que labora en esta área.

**Clasificación y selección del producto:** Se realiza en forma manual en tres fases la primera se retira alguna roca dura que haya pasado sin terminar su proceso completo de calcinación, seguidamente se separa la cal gruesa a un costado y la fina a otro haciendo pasar por un tamiz de 1.5x1 m de dimensiones, finalmente se escoge los residuos de carbón pequeños presentes en la cal fina, liberando por completo las impurezas del producto para finalmente la cal gruesa acarrear al volquete para llevar a los molinos.

**Molienda:** La molienda solo se desarrolla de acuerdo al pedido del cliente; para ello se realiza el carguío y acarreo de cal a zona de molienda, se almacena en una ranfla de capacidad máxima de almacenamiento de 70 Tn que abastecerá al molino de capacidad de

producción 3 Tn / hora. Actualmente se cuenta con 5 molinos de martillos con eje fijo, en las diferentes zonas de operaciones, de los cuales 3 son de 3Tn/ horas y 2 son de 2.5 Tn/hora. Toda la maquinaria se mueve con energía eléctrica por el proyecto de energía trifásica ejecutado por la empresa Resurrección EIRL. En casos de emergencia se utiliza los generadores, se cuenta con 02 generadores.

**Control de calidad:** Cada una de las etapas del proceso productivo de la cal es monitoreada por parte del encargado de procesos y control de calidad. Por medio de muestreos aleatorios y análisis químicos y físicos, se asegura que solo sean procesadas las materias primas que reúnen las especificaciones establecidas. A lo largo de todas las etapas posteriores de fabricación, se analizan los productos en proceso y productos terminados para garantizar la satisfacción total de nuestros clientes. El control químico, es decir el porcentaje de cal útil lo hacemos periódicamente a través del método científico llevado a cabo por expertos químicos de la Universidad Nacional de Cajamarca y Trujillo. Actualmente ya se está terminando un laboratorio propio de Resurrección para analizar cal.

**Almacenamiento:** El producto final es de acuerdo al pedido del cliente puede ser cal gruesa o cal fina, si es cal gruesa, entonces después de la selección de cal con la verificación de que cumpla con los estándares de calidad se procede a almacenar para su transporte a su destino final dispuesto por el cliente. De lo contrario si el cliente solicita cal fina pasará por el proceso de molienda y luego se verificará los estándares de calidad y se almacenará en sacos de 35 kg en la zona de acopio para su carguío a las unidades de transporte que trasladarán al destino final ordenado por el cliente. Las condiciones de almacenamiento deben ser las adecuadas, según las características físicas y químicas de la cal para evitar la pérdida de ley del producto.

### c. Costos de producción

Los costos de producción del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, se dividen en: costos variables y costos fijos.

**Costos variables:** Dentro de los costos variables en el Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, tenemos los siguientes: costos de insumos, costos de mano de obra directa, costos de equipos/ vehículos y herramientas, costos en implementos de seguridad y otros costos.

**Tabla 21:** Costos de insumos - producción CaO proyecto minero

Costos de insumos	Unidad	Cantidad	Uso (%)	Precio unit (s/)	Monto total
<b>Listado de insumos</b>					
1.- Piedra Caliza	TM	1819.00	1.00	\$1.30	\$2,364.70
2.- Carbón de Piedra	TM	180.00	1.00	\$1.30	\$16,020.00
<b>Total insumos global</b>					<b>\$18,384.70</b>

**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

**Tabla 22:** Costos de mano de obra – producción CaO proyecto minero.

Costos de mano de obra directa	Unidad	Cantidad (horas/mes)	Costo hora	Total personal chancada	Importe mensual – chancada
<b>Personal posiciones</b>	Se considera 8 horas día y 25 días mes de trabajo.				
<b>1.- Cantera</b>					
- Maestro Perforista (cachorro en cantera)	HH	200	\$1.78	1	\$356.00
- Ayudante perforista	HH	200	\$1.60	1	\$320.00
- Desatadores de Piedra	HH	1200	\$1.60	6	\$1,920.00
- Chancadores de Piedra (Chancado Manual Primario)	HH	800	\$1.60	4	\$1,280.00
					<b>\$3,876.00</b>
<b>2.- Hornos de calcinación (llenado y desquinchado)</b>					
- Maestro Quemador (alimentación hornos)	HH	200	\$1.78	1	\$356.00
- Parrilleros	HH	3000	\$1.60	15	\$4,800.00
					<b>\$5,156.00</b>
<b>3.- Acarreo y chancado de cal</b>					
- Operarios (acarreo y chancado)	HH	1200	\$1.60	6	<b>\$1,920.00</b>
<b>4.- Almacenamiento y carguío de unidades</b>					
- Operarios	HH	1200	\$1.60	6	<b>\$1,920.00</b>
<b>Total mano de obra global</b>	HH	8000		40	<b>\$12,872.00</b>

Fuente: Elaboración propia - 2016.

**Tabla 23:** Costos de equipos, vehículos y herramientas.

Equipos, vehículos y herramientas	Unidad	Costo equipo	Cantidad	Vida útil (mes)	Depreciación de equipos y herramientas
<b>Listado de equipos</b>					
- Perforadora Bosch	US\$	\$1,457.00	1.00	24.00	\$60.71
-Chancadora	US\$	\$5,357.00	2.00	48.00	\$223.21
-Generadores	US\$	\$3,750.00	2.00	12.00	\$625.00
<b>1.- costo de recuperación de equipos para operación</b>					<b>\$908.92</b>
<b>2.- costos de recuperación de vehículos para operación</b>	US\$	\$32,142.00	1.00	48.00	<b>\$669.63</b>
<b>Listado de herramientas</b>					
- Carretilla	US\$	\$100.00	20.00	6.00	\$333.33
- Palanas	US\$	\$16.00	20.00	4.00	\$80.00
- Picotas	US\$	\$16.00	20.00	6.00	\$53.33
- Barretas	US\$	\$53.60	12.00	6.00	\$107.20
-Combos	US\$	\$28.60	15.00	6.00	\$71.50
<b>3.- costos de recuperación de herramientas</b>					<b>\$645.37</b>
<b>total costos de equipos/vehículos y herramientas</b>					<b>\$2,223.91</b>

Fuente: Elaboración propia - 2016.

**Tabla 24:** Costos en implementos de seguridad y otros.

Costos en implementos de seguridad	Unidad	Cantidad	C.U.	Tiempo uso	Parcial
<b>Implementos de seguridad</b>					
Casco de Seguridad	US\$ /Mes.	45	\$10.70	0.06	\$28.89
Zapatos de Seguridad	US\$ /Mes.	180	\$35.70	0.015	\$96.39
Chaleco Reflectivo	US\$ /Mes.	300	\$12.50	0.005	\$18.75
Traje Tivex	US\$ /Mes.	500	\$7.14	0.005	\$17.85
Gautes de Seguridad	US\$ /Mes.	250	\$2.50	0.00125	\$0.78
Lentes de Seguridad	US\$ /Mes.	600	\$1.40	0.00125	\$1.05
Tapones Auditivos	US\$ /Mes.	800	\$1.40	0.00125	\$1.40
Respiradores	US\$ /Mes.	90	\$21.40	0.0075	\$14.45
Filtros de Polvos	US\$ /Mes.	180	\$5.40	0.0025	\$2.43
<b>Costo total de implementos de seguridad</b>					<b>\$181.99</b>
<b>Otros costos variables</b>					<b>\$780.00</b>

Fuente: Elaboración propia - 2016.

**Costos fijos:** Dentro de los costos fijos del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, tenemos: gastos generales y administrativos, servicios varios, seguros y derechos de concesión, personal técnico administrativo y otros costos fijos.

**Tabla 25:** Gastos generales y administrativos.

<b>Gastos generales y administrativos</b>						
	<b>Unidad</b>	<b>cantidad</b>	<b>c.u.</b>	<b>tiempo uso</b>	<b>Parcial</b>	<b>Totales</b>
Teléfonos	Glob.	4	\$17.85	1	\$71.40	
Papelería y útiles de escritorio	Glob.	1	\$53.60	1	\$53.60	
						<b>\$125.00</b>
<b>Equipos, artículos varios</b>			<b>Costo</b>	<b>Tiempo./Disp.</b>		
Equipos de comunicación	Glob.	1	\$35.70	1.00	\$35.70	
						<b>\$35.70</b>
<b>Total</b>						<b>\$160.70</b>
<b>Servicios varios</b>	US\$					<b>\$1,500.00</b>

Fuente: Elaboración propia - 2016.

**Tabla 26:** Seguros, derechos de concesión.

<b>Seguros, derechos de concesión</b>						
<b>Seguros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Cost./Mes</b>	<b>%</b>	<b>Parcial</b>	<b>Totales</b>
Seguros SCTR	US\$	1	\$71.42	1	\$71.42	
Seguro de salud	US\$	1	\$89.30	1	\$89.30	
						<b>\$160.72</b>
<b>Concesión</b>						
Pago vigencia y penalidad	US\$	1	\$150.00	1	\$150.00	
						<b>\$150.00</b>
<b>Total</b>						<b>\$310.72</b>

Fuente: Elaboración propia - 2016.

**Tabla 27:** Seguros, derechos de concesión.

<b>Personal técnico administrativo</b>						
	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Us\$</b>	<b>%</b>	<b>Parcial</b>	<b>Totales</b>
Gerente general	US\$/Mes.	1	\$1,200.00	1	\$1,200.00	
Gerente administrativo	US\$/Mes.	1	\$1,000.00	1	\$1,000.00	
Asistente administrativo	US\$/Mes.	1	\$800.00	1	\$800.00	
Ing. prevencionista	US\$/Mes.	1	\$1,200.00	1	\$1,200.00	
<b>Otros costos fijos</b>						<b>\$3,500.00</b>
<b>Costo total de personal técnico administrativo</b>						<b>\$4,200.00</b>

Fuente: Elaboración propia - 2016.

### 2.3. Definición de términos básicos

**Altura de banco:** Es la distancia vertical entre dos niveles o, lo que es lo mismo, desde el pie del banco hasta la parte más alta o cabeza del mismo.

**Angulo de reposo del material:** Es el talud máximo para el que es estable sin deslizar el material suelto que lo constituye y en condiciones de drenaje total, después de vertido.

**Banco:** Es el modulo o escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la rebanada que se explota de estéril y/o mineral. Y que es objeto de excavación desde un punto de espacio hasta una posición final preestablecida.

**Bermas:** Son aquellas plataformas Horizontales existentes en los límites de la excavación sobre los taludes finales, que coadyuvan a mejorar la estabilidad de un talud y las condiciones de seguridad frente al deslizamiento o caída de piedras.

**Guijarros.-** Es un fragmento de roca suelto, susceptible de ser transportado por medios naturales, como las corrientes de agua, los corrimientos de tierra, etc.

**Límites finales de la explotación:** Son aquellas situaciones espaciales hasta las que se realizan las excavaciones. El límite vertical determina el fondo final de la explotación y los límites laterales los taludes finales de la misma.

**Pistas:** Son las estructuras viarias dentro de una explotación a través de las cuales se extraen los materiales, o se efectúan los movimientos de equipos y servicios entre diferentes puntos de la misma. Se caracterizan por su anchura, su pendiente y su perfil.

**Talud de banco:** Es el ángulo delimitado entre la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco

**Talud de trabajo:** Es el ángulo delimitado por los pies de los bancos entre los cuales se encuentra alguno de los tajos o plataformas de trabajo. Es en consecuencia, una pendiente provisional de la excavación.

**Talud final de explotación:** Son aquellas situaciones espaciales hasta que se realizan las excavaciones. El límite vertical determina el fondo final de la explotación y los límites laterales los taludes finales de la misma.

**Apagado de la cal:** El óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) obtenido en la calcinación de la caliza reacciona inmediatamente con el agua, transformándose en hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Este fenómeno se conoce como hidratación o apagado de la cal viva ( $\text{CaO}$ ).

**Apagado aéreo:** es el proceso en el cual la cal viva ( $\text{CaO}$ ), a la temperatura ambiente, capta la humedad presente en el ambiente, convirtiéndose en Lechada de Cal  $\text{Ca(OH)}_2$ .

**Colector de polvo:** es un sistema que mejora la calidad del aire liberado por procesos industriales o comerciales mediante la recolección de polvo y otras.

**Lechada de cal:** es la combinación de  $\text{H}_2\text{O}$  con óxido de calcio  $\text{CaO}$ .

## **CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **3.1. Presentación y análisis de tablas y gráficos de resultados.**

Para la realización del presente trabajo de tesis profesional realizado en el distrito de Bambamarca en el kilómetro 5.5 salida a Cajamarca, desde el 11 de abril al 11 de setiembre de 2016, se determinó los factores críticos del plan de minado, y su efecto en la productividad de óxido de calcio del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L.

Para lo cual se analizó las características de las propiedades de la roca en campo y con la ayuda de equipos, herramientas y un programa (Geotable) que sirvió para realizar el cálculo respectivo de valorización del RMR y comparar con los resultados de los ensayos de la roca caliza en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) como: Compresión simple, de propiedades elásticas, de tracción indirecta, de propiedades físicas, de carga puntual, de corte directo y de compresión triaxial (Ver Anexo 2), que sirvió de base para identificar el porcentaje de pureza de la roca para obtener Oxido de calcio(CaO), cumpliendo la calidad del producto final,

cumpliendo con los estándares de calidad y satisfacción del cliente. Que fueron de 97.35 % de CaCO<sub>3</sub>.

Para la realización del presente trabajo profesional, se ejecutó el siguiente cronograma de trabajo:

Tabla 28. Cronograma de actividades de investigación

Fase I: Reconocimiento del entorno y selección de las zonas a muestrear							
	L	M	M	J	V	S	D
ABRIL					1	2	3
	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	
Fase II: Recolección de las muestras del macizo rocoso de diferentes zonas							
	L	M	M	J	V	S	D
MAYO							1
	2	3	4	5	6	7	8
	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29
	30	31					
Fase III: Análisis en el laboratorio de la UNI							
	L	M	M	J	V	S	D
JUNIO			1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	19
	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30			
Fase IV: Complementación de la información							
	L	M	M	J	V	S	D
JULIO					1	2	3
	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31
Fase V: Procesamiento de datos							
	L	M	M	J	V	S	D
AGOSTO	1	2	3	4	5	6	7
	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21
	22	23	24	25	26	27	28
	29	30	31				
Procesamiento de datos							
	L	M	M	J	V	S	D
SEPTIEMBRE				1	2	3	4
	5	6	7	8	9	10	11
	12	13	14	15	16	17	18
	19	20	21	22	23	24	25
	26	27	28	29	30		

Fuente: Elaboración propia - 2016.

**Fase I: Reconocimiento del entorno y selección de las zonas a muestrear:** Dentro de esta fase las actividades que se realizaron fueron en tres días:

- El día 11 del mes de abril se reconoció el entorno laboral y el área donde se realizó el estudio en conocimiento del gerente general del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L.
- El día 20 del presente mes se seleccionó las zonas a muestrear como el proyecto cuenta con tres zonas se llegó a cabo que se obtendría tres muestras de cada zona del tipo de macizo rocoso.
- El día 22 del presente se realizó la medición para la extracción de muestras de diferentes puntos.

**Fase II: Recolección de muestras del macizo rocoso de diferentes zonas:** Dentro de esta fase las actividades que se realizaron fueron en tres días:

- El día 03 del mes de mayo se obtuvo las muestras de la zona 1 conjuntamente con ayuda de algunos trabajadores.
- El día 11 del presente mes se obtuvo las muestras de la zona 2 conjuntamente con ayuda de personal que laboran para la empresa.
- El día 23 del presente se obtuvo las muestras de la zona 3 conjuntamente con ayuda del personal que laboran para la empresa.

**Fase III: Análisis de muestras en laboratorio de la UNI:** Dentro de esta fase las actividades que se realizaron fueron en dos días:

- El 11 del mes de junio se envió las muestras de las tres zonas para hacer el análisis respectivo del tipo de caliza al laboratorio de la UNI (universidad nacional de ingeniería).
- El 30 del mismo mes se recogió la tres muestras ya realizadas el análisis y con el informe detallado.

**Fase IV: Complementación de la información:** Se realizó en el mes de agosto, lo cual se obtuvo los resultados esperados de los análisis que había algunas rocas con impurezas y cristalización que lo estaba perjudicando dentro del proceso de calcinación en la reducción de volumen de producción de óxido de calcio pero en pequeñas cantidades, lo cual era fácil su identificación por el personal que laboran dentro de la empresa para lo cual se logró capacitar al personal durante un periodo de 2 horas e identificar fácilmente estas rocas y separarlas, también una vez identificado los factores se estableció controles y procedimientos adecuados a seguir de diferentes autores con alto conocimientos en procesos de obtención de CaO y se continuo desarrollando el proyecto de investigación.

#### **Fase V: Procesamiento de datos**

El procesamiento de datos se realizó en dos último mes una vez ya concluyendo el proyecto de investigación se compararon diferentes costos anteriores con los actuales ya aplicados del proyecto de investigación en comparación costos anteriores del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, lo cual se detalla a continuación:

### a. Para la producción de óxido de calcio

De acuerdo a los datos obtenidos en campo y descritos en bases teóricas obtenemos los siguientes resultados de producción de óxido de calcio.

**Tabla 29:** Producción total de óxido de calcio día/mes/año.

Predio	Cantidad de hornos	TN Día	TN Mes	TN Año
Cochapampa	05	48.00	1152.00	13824.00
Sayapata	04	64.00	1536.00	18432.00
Falda	01	15.00	360.00	4320.00
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>127.00</b>	<b>3048.00</b>	<b>36576.00</b>

Fuente: Elaboración propia - 2016.

De la tabla se menciona que; aplicando los controles de los factores críticos obtenemos una producción de **127 Tn por día, 3048.00 Tn por mes y 36576.00 Tn por año** de óxido de calcio con un total de 10 hornos al 100% operativos.

### b. Costos unitarios de la producción de óxido de calcio

Se presenta los costos unitarios de producción de CaO, estimados incluyendo los controles de los factores críticos que afectan también la parte de costos y presupuestos del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L.

**Tabla 30:** Costos unitarios - producción CaO. La Resurrección E.I.R.L.

<b>Estructura de costos de la cal viva granulada</b>				
	<b>Unidad</b>	<b>Global</b>	<b>Unitario</b>	
<b>Producción mensual</b>	TM	1000		
<b>Costos variables</b>				
1. Costo de insumos	US\$ /mes.	\$18,384.70	\$18.38	
2. Costo de mano de obra directa	US\$ /mes.	\$12,872.00	\$12.87	
3. Costo de equipos/vehículos y herramientas	US\$ /mes.	\$2,223.91	\$2.22	
4. Implementos de seguridad	US\$ /mes.	\$181.99	\$0.18	
5. Otros costos variables	US\$ /mes.	\$780.00	\$0.78	
<b>Total de costos variables</b>		<b>\$34,442.59</b>	<b>\$34.44</b>	
<b>Costos fijos</b>				
1. Gastos generales y administrativos	US\$ /mes.	\$160.70	\$0.16	
2. Servicios varios	US\$ /mes.	\$1,500.00	\$1.50	
3. Seguros, derechos de concesión	US\$ /mes.	\$310.72	0.31072	
4. Personal técnico administrativo	US\$ /mes.	\$2,400.00	\$2.40	
5. Otros costos fijos	US\$ /mes.	\$3,500.00	\$3.50	
<b>Total costos fijos</b>	<b>US\$ /mes.</b>	<b>\$7,871.42</b>	<b>\$7.87</b>	
<b>Total de costo de producción</b>			\$82.31	0.12
<b>Utilidad (%)</b>			<b>\$9.90</b>	
<b>Flete</b>			<b>\$ 21</b>	

Fuente: Elaboración propia - 2016.

### c. Cálculo de la productividad

Luego de obtener los resultados de las variables desconocidas en un inicio, se procede a calcular la estimación de la productividad del año 2016, en función a la utilidad o ganancia que se obtiene del proceso y comercialización de óxido de calcio en el proyecto minero La Resurrección E.I.R.L. Los resultados obtenidos son que realizando el trabajo operativo al 100% se produce 127 tn por día generando así una utilidad de 2105.66 dólares por día, según lo programado. Como se muestra a continuación.

Año	Tn /día	Costo/unitario de producción(\$/Tn)	Precio unitario de ventas(\$/Tn)	Productividad (\$/Tn)	Total productividad/día (\$/día)
2016	127	113.42	130	16.58	2105.66

**Tabla 31:** Cálculo de la productividad de CaO.

**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

Según datos obtenidos en campo se obtiene que existe una variación del 5% de productividad de utilidad por día entre lo programado y lo ejecutado teniendo en cuenta que los planes nunca llegan a cumplirse al 100 % para nuestro caso solamente se cumplió el 95 %. Como se muestra en la tabla 32.

**Tabla 32:** Productividad ejecutada.

Año	Tn /día	Costo/unitario de producción(\$/Tn)	Precio unitario de ventas(\$/Tn)	Productividad (\$/Tn)	Total productividad/día (\$/día)
2016	121	113.42	130	16.58	2006.56

**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

#### d. Estadísticas para medir el índice de productividad incrementado:

Tomando como base la información obtenida de la empresa en años anteriores según los registros de ventas, control de operaciones y declaraciones en Sunat y los datos obtenidos con la aplicación de las medidas de control en los factores críticos en el año 2016, se registró lo siguiente:

**Tabla 33:** Estadística de incremento de productividad.

Año	Tn /día	Costo/unitario de producción(\$/Tn)	Precio unitario de ventas(\$/Tn)	Productividad (\$/Tn)	Total productividad/día (\$/día)
2016	121	113.42	130	16.58	2006.56
2015	110	117.97	130	12.03	1323.3
2014	108	114.91	125	10.09	1413.72
2013	109	114.55	125	10.45	1139.05
2012	104	115.92	125	9.08	944.32

**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

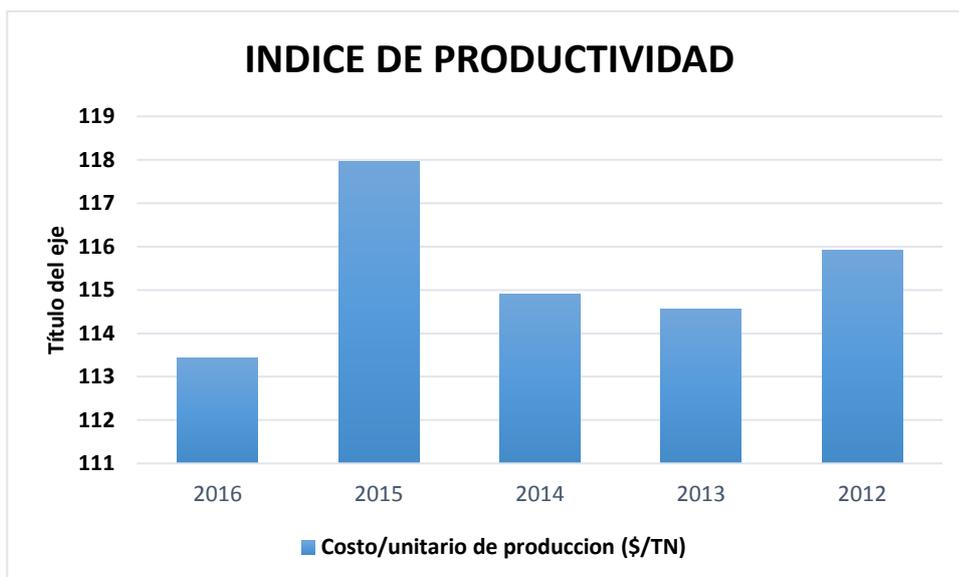
En la Tabla 33, de estadísticas de incremento de productividad de cal producida por día, desde el año 2012, al año 2016 en relación a los últimos 4 años de producción, teniendo en cuenta los controles de los factores críticos del proceso se tiene:



**Figura 31:** Estadística de incremento de productividad de CaO – 2016.

**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

El costo operativo de cualquier proceso juega un papel fundamental para el incremento de la productividad, así mientras el costo de producción de cal se muestre menor en relación a las Tn de cal producida según lo planificado, la productividad de la utilidad será mayor. Ver en la siguiente figura.



**Figura 32:** Índice de productividad de CaO – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

Tomando como línea base la productividad programada de 2050.66 \$/tn de cal, el equivalente es al 100%, se presenta los resultados obtenidos con el factor de medida porcentual para el año 2016, en comparación con los años anteriores.

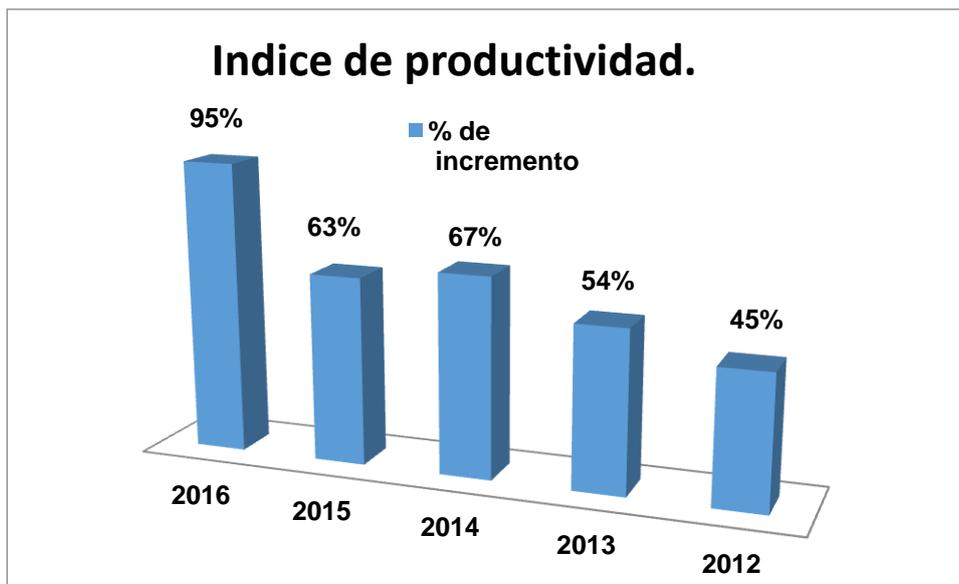
### Logro alcanzado DESPUÉS

**Tabla 34:** Comparación de la productividad de CaO.

Año	tota productividad/día (\$/día)	% productividad	% de incremento
2016	2006.56	95%	32%
2015	1323.3	63%	-4%
2014	1413.72	67%	13%
2013	1139.05	54%	13%
2012	944.32	45%	9%

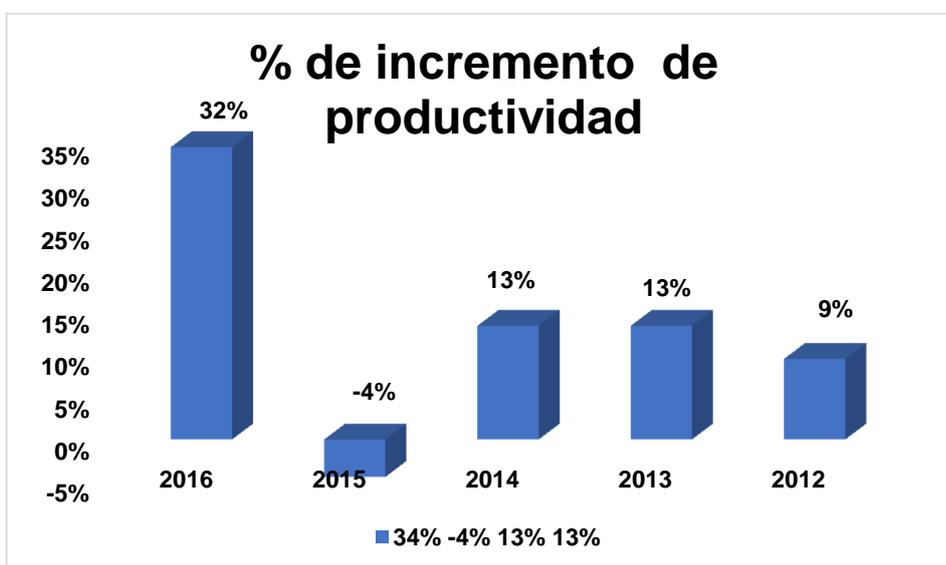
**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

De la tabla se obtiene el índice de productividad del (logro alcanzado DESPUÉS) de cal producida por día en el año 2016 en relación a los últimos 4 años de producción, teniendo en cuenta los controles de los factores críticos del proceso. Como se muestra en la siguiente figura.



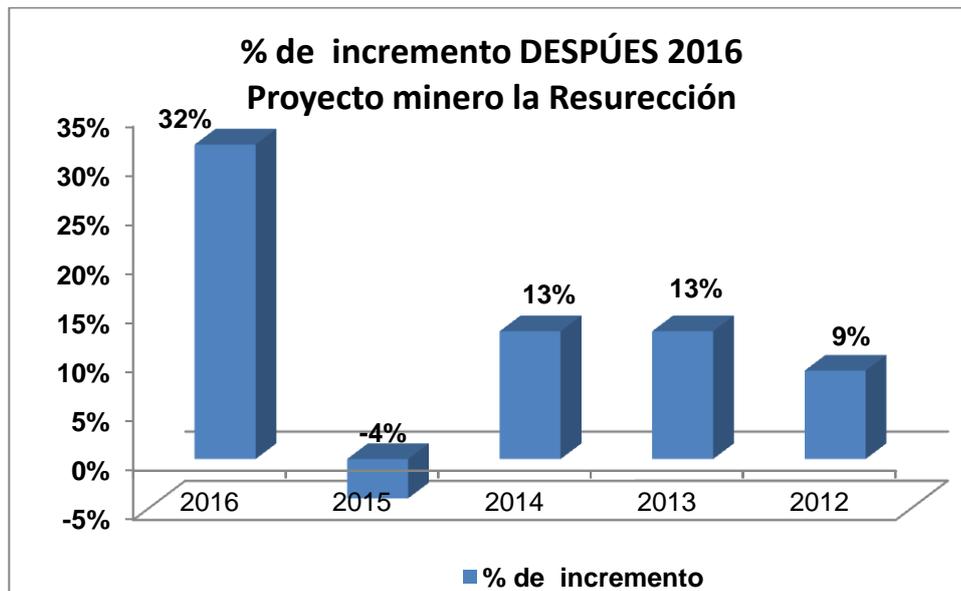
**Figura 33:** Índice de productividad de CaO de incremento - 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

De la tabla anterior se obtiene que el % de incremento de productividad del (logro alcanzado DESPUÉS), producida por día en el año 2016 en relación a los últimos 4 años de producción, teniendo en cuenta los controles de los factores críticos del proceso.



**Figura 34:** Incremento de productividad de CaO – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

Según las figuras descritas nos muestra que el índice de productividad en años anteriores era variable tendían a ascender o bajar desconociendo las causas, motivo por el cual visto este problema se realizó el siguiente estudio determinando así los factores críticos del proceso de óxido de calcio para hacer un análisis y establecer las medidas de control adecuadas. Obteniendo de esta manera un 32% de incremento de la productividad, que benefició al proyecto en estudio.



**Figura 35:** Porcentaje de incremento DESPUÉS 2016.

**Fuente:** Elaboración propia - 2016.

En la figura se aprecia que el porcentaje de incremento DESPUÉS 2016, menciona que después de haber determinado e identificado los factores críticos en el plan de minado se llegó a realizar el control adecuado para cada uno y mediante diferentes procedimientos para realizar cada actividad dentro de cada factor se logró un incremento de la productividad de óxido de calcio positivo.

Según los estudios realizados si el proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, no implementa las medidas de control necesarias, en algún momento el costo operativo superara el ingreso de ventas y la empresa se declarara en quiebra.

## Conclusiones

Los factores críticos del plan de minado, y su efecto en la productividad de óxido de calcio (CaO) del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, son Materia prima (análisis de muestras en laboratorio UNI y análisis de propiedades de la roca caliza), el Proceso de calcinación (Controles), Método de almacenamiento (controles adecuados para un almacenamiento seguro).

Los controles que minimizaron el efecto de los factores críticos del plan de minado, en la productividad de óxido de calcio (CaO), del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, benefició al proyecto en estudio en un 32%, de incremento de productividad, de Oxido de calcio (CaO).

El efecto económico de los principales factores críticos, que afecta la productividad de óxido de calcio (CaO), del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, fue de \$ 683.26 por día.

## Recomendaciones

Se recomienda a todos los proyectos que se dedican a producción de CaO realizar un seguimiento detallado a estos factores críticos que siempre van a estar presentes en la etapa de explotación de óxido de calcio del proyectos mineros, para así poder obtener un producto final de buena calidad y cumplir con lo establecido dentro del plan de minado.

Se recomienda iniciar las operaciones dentro del proyecto aplicando estos controles establecidos, para así poder incrementar la productividad de óxido de calcio (CaO) y no tener problemas con estos factores que siempre van a perjudicar sino no se tiene controles adecuados al realizar estas actividades.

Las empresas que se dedican a la extracción de cal viva (CaO), deben realizar un análisis de los factores críticos presentes en sus proyectos antes de la ejecución, para lo cual es necesario tener buenos controles para cada factor crítico y así cumplir con la satisfacción de sus clientes.

## Referencias bibliográficas

Sinaluisa, L. (2013): *“Estudio de factibilidad para la creación de una planta de cal viva e hidratada en la parroquia san juan”*. Tesis de grado, en la Escuela Politécnica Chimborazo Riobamba de Ecuador en el año 2013. Riobamba. Ecuador. 123 p.

Moreno, L. (2015): *“Proyecto de explotación de caliza el páramo”*. Tesis de Post Grado, en Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Minas y Energía de Perú en el año 2015. Lima – Perú. 180 p.

Castillo, Q. (2014): *“Estudio de un plan de minado para la explotación de canteras en Cajamarca”*. Proyecto de investigación, en la universidad nacional de Cajamarca, en el año 2014. Cajamarca – Perú. 105 p.

Munier, E. (2013): *“Planeamiento de minado”*. Lima – Perú. 85 p.

Palma, V. (2009): *“Procesos de la productividad de cal viva he hidratada”*. Lima – Perú. 180 p.

Moreno, L. (2015): *“Proyecto de explotación de cantera de caliza el páramo”*. Madrid – España. 210 p.

Álvarez, G. (2008): *“la cal: es un reactivo químico”* Antofagasta – Chile. 123 p.

Guillermo A. (2014): *“INTICAL: Alta tecnología en la producción de cal, insumo esencial de la minería moderna”*. Arequipa – Perú. 40 p.

Saavedra, V. (2013): *“etapas para la producción de cal en pequeños productores mineros”*. Paute – Ecuador. 110 p.

Guerra, S. (2005): *“Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de caliza para la producción de óxido de calcio”* Lima – Perú. 135 p.

Plan de minado a corto plazo – Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. – 2016.

## **ANEXOS**

## Anexos 1. Matriz de consistencia

**Tabla 35:** factores críticos del plan de minado, y su efecto en la productividad de óxido de calcio (cao) del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca - Cajamarca 2016.

Problemas de investigación	Objetivos de la investigación	Hipótesis de la investigación	Variables	Dimensiones e indicadores	Instrumentos	Metodología
<p><b>Problema principal:</b> ¿Cuáles son los factores críticos del plan de minado, y su efecto en la productividad de óxido de calcio (CaO), del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca 2016?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar los factores críticos del plan de minado, y su efecto en la productividad de óxido de calcio (CaO) del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca 2016.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> Los factores críticos del plan de minado y su orden de incidencia del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, que afecta la productividad de óxido de calcio (CaO) son: la materia prima, el proceso de calcinación y el método de almacenamiento.</p>	<p><b>Variable independiente</b>  Factores críticos</p>	<p><b>Materia prima:</b> (propiedades de la roca) <b>Proceso de calcinación:</b> (tipos de hornos, temperatura y gases) <b>Método de calcinación:</b> (ambiente y tiempo)</p>	<p>Guía de observaciones</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada porque se va a realizar el control de los factores críticos del plan de minado que afecta la productividad CaO. <b>Nivel de investigación:</b> Descriptiva y explicativa porque describe los fenómenos en las circunstancias que ocurre en el trabajo y trata de jerarquizarlas según su importancia e incidencia en el proceso productivo del proyecto en estudio. <b>Método de investigación:</b> Es el hipotético deductivo, en el cual, partiendo de un problema de conocimiento identificado con el uso de la teoría, se plantea una hipótesis para resolverlo <b>Diseño de la investigación:</b> Correlacional, porque se muestra la relación que existe entre la variable dependiente y la independiente <b>Población:</b> Son todos los proyectos que se dedican al producción de Cao alrededor en 2016. <b>Muestra:</b> <b>Son las mediciones y puntos de muestreo que se hicieron en el proyecto.</b> <b>Técnicas de recolección de datos:</b> Observación, documentales y entrevistas.</p>
<p><b>Problemas secundarios:</b> -¿Cuáles son los controles para minimizar el efecto de los factores críticos del plan de minado, en la productividad de óxido de calcio (CaO), del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca 2016?  -¿Cuál es el efecto económico de los principales factores críticos que afectan la productividad de óxido de calcio (CaO), del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca 2016?</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b> -establecer controles para minimizar el efecto de los factores críticos del plan de minado, en la productividad de óxido de calcio (CaO), del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca 2016. -Determinar cuál es el efecto económico de los principales factores críticos, que afecta la productividad de óxido de calcio (CaO), del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, Bambamarca – Cajamarca 2016.</p>	<p><b>Hipótesis secundarias:</b> -Los controles establecidos minimizaran el efecto de los factores críticos del plan de minado del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, en la productividad de óxido de calcio (CaO) como: la materia prima, el proceso de calcinación y el método de almacenamiento. -Los factores materia prima, proceso de calcinación y método de almacenamiento del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, afecta la productividad de óxido de calcio (CaO), en 40 % respectivamente.</p>	<p><b>Variable dependiente</b>  Productividad de óxido de calcio. (CaO)</p>	<p><b>Producción:</b> (volumen).  <b>Recursos:</b> (humanos, materiales y financieros).  <b>Producto:</b> (calidad)</p>	<p>Tarjeta de registro de información  Guía de entrevista  Guía de observaciones</p>	<p><b>Método de investigación:</b> Es el hipotético deductivo, en el cual, partiendo de un problema de conocimiento identificado con el uso de la teoría, se plantea una hipótesis para resolverlo <b>Diseño de la investigación:</b> Correlacional, porque se muestra la relación que existe entre la variable dependiente y la independiente <b>Población:</b> Son todos los proyectos que se dedican al producción de Cao alrededor en 2016. <b>Muestra:</b> <b>Son las mediciones y puntos de muestreo que se hicieron en el proyecto.</b> <b>Técnicas de recolección de datos:</b> Observación, documentales y entrevistas.</p>

**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

**Anexo 2: Análisis de laboratorio de mecánica de rocas.**



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica  
Laboratorio de Mecánica de Rocas

Lima 30 de Junio de 2016

Informe N° 130/16/LMR/UNI

Señores  
**RESURRECCION E.I.R.L.**  
Presente.-

De nuestra consideración

Sírvanse encontrar adjunto los resultados de los ensayos del Laboratorio de Mecánica de Rocas correspondientes al proyecto "**Olegario Vásquez Díaz**". Ubicado en el Distrito Bambamarca, Provincia Hualgayoc, Departamento Cajamarca

Atentamente



**Ing. Elvis Valencia Chávez**  
Jefe del Laboratorio de Mecánica de Rocas  
Universidad Nacional de Ingeniería



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**  
**Laboratorio de Mecánica de Rocas**

**INFORME N° 130/14/LMR/UNI**

**ENSAYOS DE COMPRESIÓN UNIAxIAL**  
**ENSAYOS DE PROPIEDAD FÍSICA**  
**ENSAYOS DE CONSTANTES ELÁSTICAS**  
**ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL**  
**ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL**  
**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO**  
**ENSAYOS DE TRACCIÓN**

Solicitado por:  
**RESURRECCION E.I.R.L.**

Muestra-. Bloque rocoso

Fecha: junio del 2016



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Mecánica de Rocas

Informe: N° 130/16/IMR/UNI  
Empresa: RESURRECCION E.I.R.L.  
Proyecto: " Olegario Vasquez Diaz "  
Fecha: 30 de junio de 2016

### ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D2938, dando los siguientes resultados:

Muestra	Diámetro (cm.)	Altura (cm.)	Carga (KN.)	Resistencia a la Compresión Simple (Kg./cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)
CAJA PISO	4.46	9.54	187.40	1236.51	121.18

Observación: Estandarizado según Protodyakonov ( $\frac{1}{\sigma} = 2$ )

### ENSAYOS DE PROPIEDADES FISICAS

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM 2216-02, dando los siguientes resultados:

Muestra	Densidad Seca (sr./cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (sr./cm <sup>3</sup> )	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Peso Específico Aparente (KN/m <sup>3</sup> )
CAJA PISO	2.51	2.52	0.03	0.37	24.56

### ENSAYOS DE PROPIEDADES FISICAS

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM 2216-02, dando los siguientes resultados:

Muestra	Densidad Seca (sr./cm <sup>3</sup> )	Densidad Húmeda (sr./cm <sup>3</sup> )	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Peso Específico Aparente (KN/m <sup>3</sup> )
CAJA PISO	2.51	2.52	0.03	0.37	24.56

### ENSAYOS DE PROPIEDADES ELÁSTICAS

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D3148, dando los siguientes resultados:

Muestra	Módulo Young (GPa)	Poisson
CAJA PISO	9.88	0.30





## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Mecánica de Rocas

Informe: N° 130/16/LMR/UNI  
Empresa: RESURRECCION E.I.R.L.  
Proyecto: "Olegario Vasquez Diaz"  
Fecha: 30 de Junio de 2016

### ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Los ensayos se realizaron sobre discontinuidad con caras paralelas a la dirección de corte, según norma ASTM D 5607-95, dando los siguientes resultados.

Muestra	Tipo de Discontinuidad	Ángulo de Fricción Residual (°)	Cohesión (MPa)
CAJA PISO	Simulada	27.05	0.109

### ENSAYOS DE TRACCION INDIRECTA (Brasilero)

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D3967, dando los siguientes resultados.

Muestra	Diámetro (cm.)	Altura (cm.)	Carga (KN)	Resistencia a la Tracción (MPa)
CAJA PISO	4.95	2.55	13.20	6.67

### ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Los ensayos se realizaron según norma ASTM 2664-95, dando los siguientes resultados:

Muestra	Diámetro (cm.)	Altura (cm.)	Carga (Kg.)	Confin. (MPa)	Resistencia (MPa)	mi	Angulo de Fricción Interno (°)	Cohesión (MPa)
	4.96	10.21	31650.4	2	161.1	25.05	55.77	21.58
CAJA PISO	4.96	10.05	36903.0	4	182.9			
	4.96	10.04	40023.6	6	203.3			





## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Mecánica de Rocas

Informe: N° 130/16/LMR/UNI  
Empresa: RESURRECCION E.I.R.L.  
Proyecto: " Olegario Vasquez Diaz"  
Fecha: 30 de Junio de 2016

### ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

Los ensayos se realizaron según norma ASTM D5731-02, dando los siguientes resultados:

Muestra	W (mm)	D (mm)	Diámetro (cm)	Carga (KN.)	$I_p^{(50)}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Compresión Simple (MPa)
	65	40	57.54	18470	5.99	143.6
	70	30	51.71	16310	6.20	148.9
CAJA PISO	75	40	61.80	20570	5.99	143.7
	55	40	52.93	16380	6.02	144.4
	60	40	55.28	17520	6.03	144.7
					Promedio	145.1

Nota:

- > La empresa solicitante es responsable de la toma de muestra en campo.
- > La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el cliente.

  
Ing. Elyis Valencia Chávez  
Jefe del Laboratorio de Mecánica de Rocas  
Universidad Nacional de Ingeniería



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

---

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica  
Laboratorio de Mecánica de Rocas

*FOTOS*

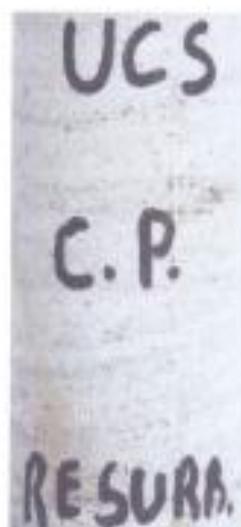
*COMPRESION TRIAXIAL*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica  
Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES



Av. Túpac Amaru N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
Telefax: (511) 382-4557 e-mail: [imfigem@uni.edu.pe](mailto:imfigem@uni.edu.pe)

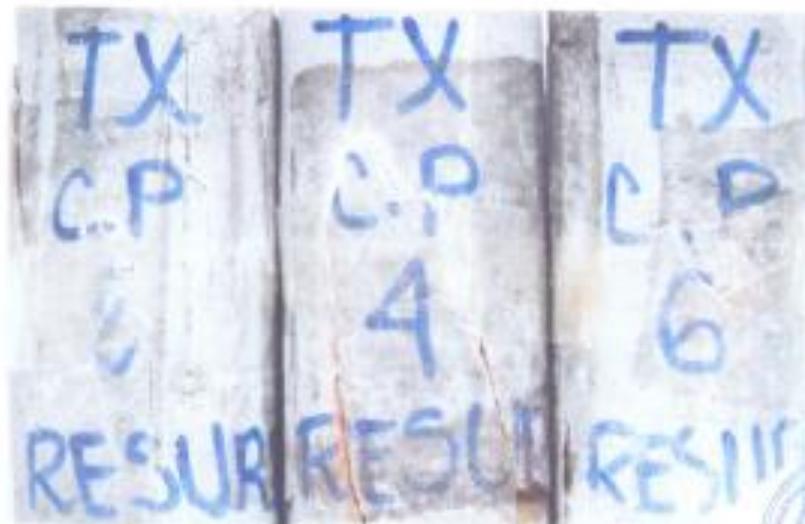
pág. 7



ANTES



DESPUES





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

---

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica  
Laboratorio de Mecánica de Rocas

*FOTOS*

*CORTE DIRECTO*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Mecánica de Rocas

ANTES



DESPUES



Av. Túpac Amari N° 210, Lima 25, Apartado 1301 - Perú  
Teléfax: (511) 382-4557 e-mail: [inn@previ.uni.edu.pe](mailto:inn@previ.uni.edu.pe)





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

---

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica  
Laboratorio de Mecánica de Rocas

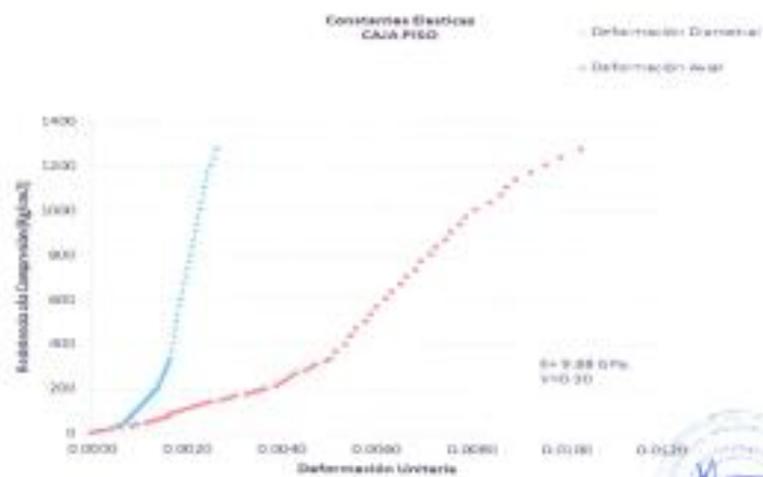
# *GRAFICOS*

## *CONSTANTES ELASTICAS*



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica  
Laboratorio de Mecánica de Rocas





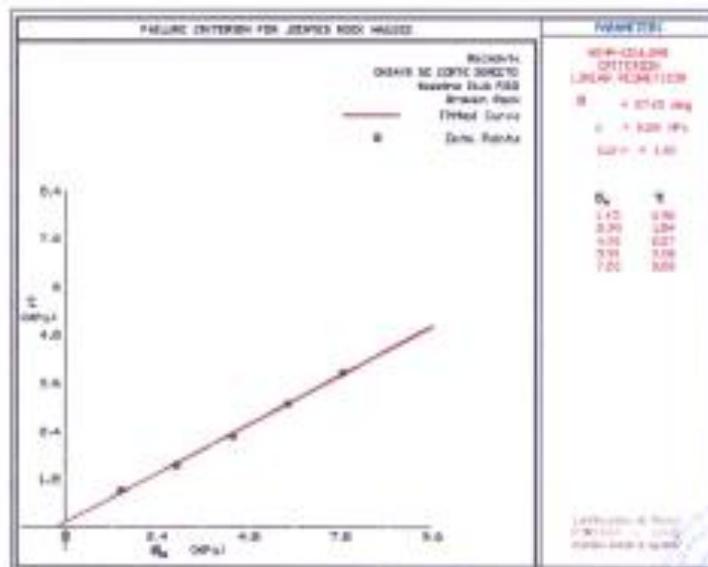
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

---

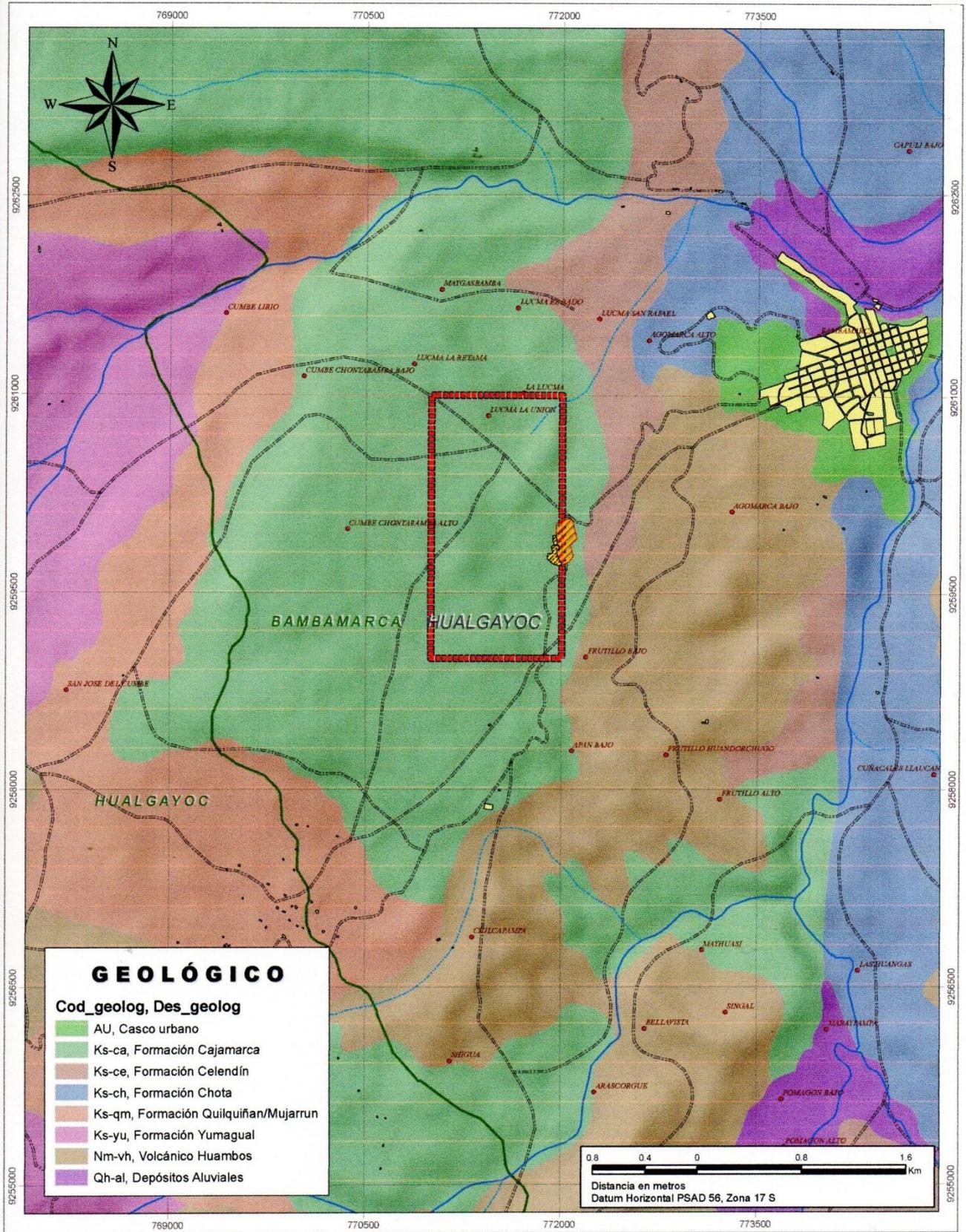
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica  
Laboratorio de Mecánica de Rocas

# ***GRAFICOS***

## ***CORTE DIRECTO***



**Anexo 3: Plano de ubicación geográfica del proyecto minero La  
Resurrección E.I.R.L. – 2016.**



**SIMBOLOGÍA**

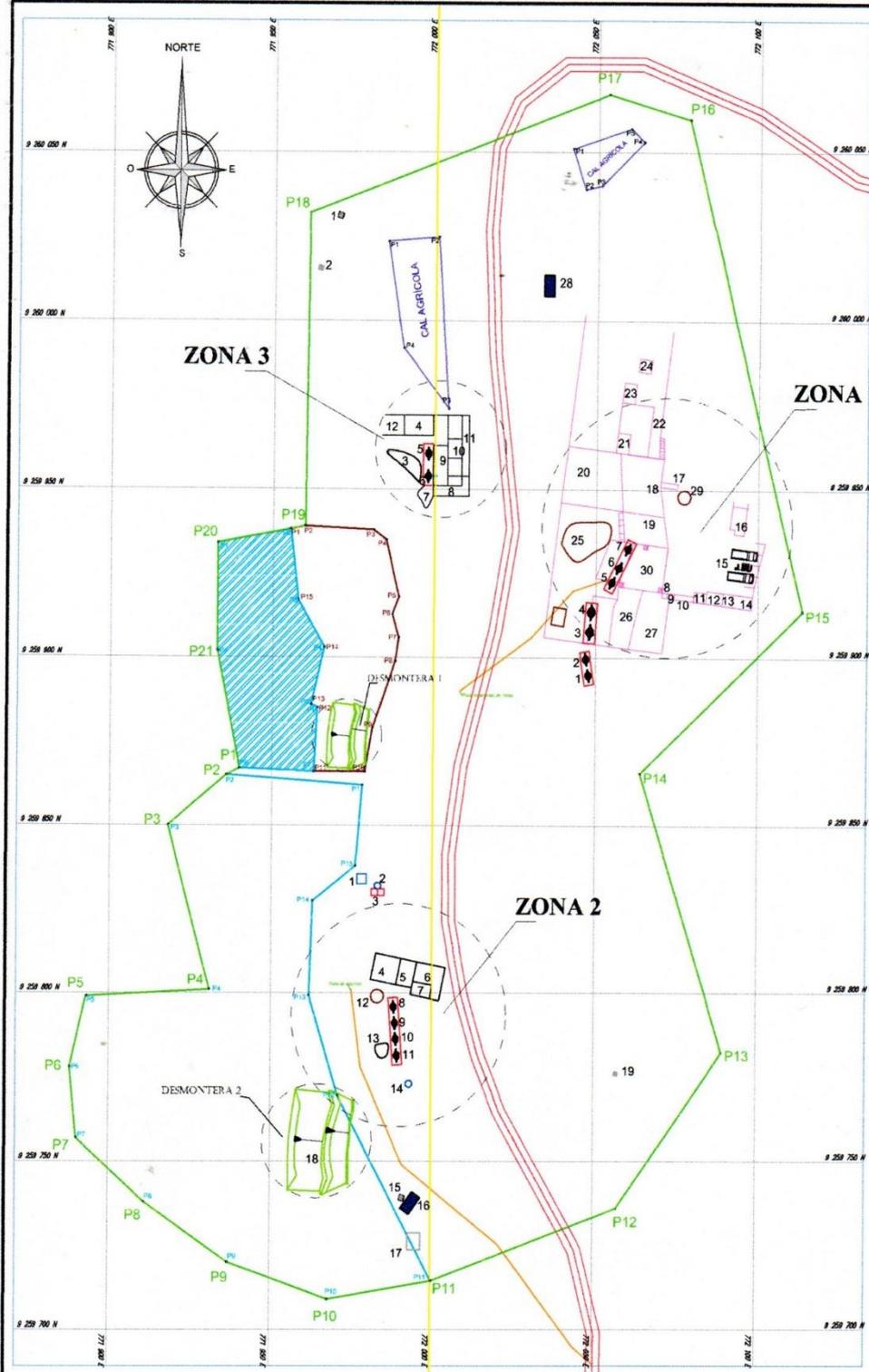
Concesión LOS CHANCAS I	Red Vial	<b>Hidrografía</b>	<b>Limites</b>
Canteras	Centros Poblados	Quebrada	Regional
Área Efectiva	Hipsografía	Río Principal	Provincial
centrosurbanos			Distrital

**UAP** UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

**PROYECTO "RESURECCIÓN"**

MAPA: <b>GEOLÓGICO</b>	PROCESO Y DIBUJO: <b>ORTIZ GOICOECHEA R.</b>	JEFE DE PROYECTO: <b>JAIMÉ GUEVARA M.</b>	ESCALA: <b>1:25.000</b>	MAPA Nº
FUENTE: MINAM - IGN - MTC - INGENIMET	REVISADO: <b>JAIMÉ GUEVARA M.</b>	APROBADO: <b>JAIMÉ GUEVARA M.</b>	FECHA: <b>AGOSTO 2018</b>	G - 01

**Anexo 4: Plano de ubicación de las instalaciones del proyecto  
minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016**



**CUADRO DE DATOS TÉCNICOS DE LA CANTERA 2 "PSAD 56"**

VERTICE	LADO	DESI.	ANGULO	ESTE	NORTE
P1	P1-P2	45.11	89°19'19"	771978.000	9259862.000
P2	P2-P3	29.43	139°32'56"	771978.000	9259862.000
P3	P3-P4	50.70	114°50'47"	771946.000	9259850.000
P4	P4-P5	38.02	281°50'45"	771931.000	9259801.000
P5	P5-P6	21.59	108°24'19"	771893.000	9259778.000
P6	P6-P7	21.10	181°10'22"	771888.000	9259773.000
P7	P7-P8	28.32	137°34'41"	771890.000	9259757.000
P8	P8-P9	31.62	172°32'27"	771911.000	9259736.000
P9	P9-P10	32.88	184°32'28"	771937.000	9259700.000
P10	P10-P11	30.46	159°46'40"	771968.000	9259700.000
P11	P11-P12	66.27	71°43'09"	772006.000	9259714.482
P12	P12-P13	61.19	189°2'45"	772000.000	9259714.482
P13	P13-P14	28.18	189°10'42"	771981.000	9259709.209
P14	P14-P15	18.89	228°31'34"	771962.687	9259687.374
P15	P15-P16	24.08	137°24'20"	771976.000	9259688.000

Area: 9427.23 m<sup>2</sup>  
 Area: 0.94273 ha  
 Perímetro: 124.79 m

**CUADRO DE DATOS TÉCNICOS DEL AREA EXPLOTADORA - CANTERA 1**

VERTICE	LADO	DESI.	ANGULO	ESTE	NORTE
P1	P1-P2	4.64	179°39'00"	771962.687	9259688.000
P2	P2-P3	21.62	186°45'52"	771968.000	9259688.000
P3	P3-P4	6.00	145°31'22"	771981.000	9259688.000
P4	P4-P5	17.48	149°2'38"	771985.000	9259685.000
P5	P5-P6	5.38	114°47'22"	771985.000	9259685.000
P6	P6-P7	7.28	217°44'45"	771967.000	9259615.000
P7	P7-P8	7.67	183°20'28"	771986.000	9259608.000
P8	P8-P9	21.19	108°24'19"	771968.000	9259608.000
P9	P9-P10	13.50	189°16'52"	771981.000	9259676.000
P10	P10-P11	15.71	120°2'28"	771978.708	9259686.000
P11	P11-P12	18.03	82°38'42"	771962.897	9259686.000
P12	P12-P13	2.24	246°27'24"	771964.000	9259685.000
P13	P13-P14	17.48	183°19'28"	771962.000	9259686.000
P14	P14-P15	16.12	222°27'27"	771968.000	9259693.000
P15	P15-P16	21.29	136°17'11"	771983.000	9259693.000
P16	P16-P1	0.21	83°53'41"	771965.531	9259698.176

Area: 1726.73 m<sup>2</sup>  
 Area: 0.17267 ha  
 Perímetro: 124.02 m

**CUADRO DE DATOS TÉCNICOS DEL AREA EXPLOTADORA - CANTERA 1**

VERTICE	LADO	DESI.	ANGULO	ESTE	NORTE
P1	P1-P2	22.58	102°24'28"	771934.000	9259684.000
P2	P2-P3	21.22	86°3'19"	771955.531	9259688.176
P3	P3-P4	16.12	203°5'53"	771956.000	9259677.000
P4	P4-P5	17.48	132°0'28"	771968.000	9259685.000
P5	P5-P6	2.24	256°49'22"	771965.000	9259685.000
P6	P6-P7	18.03	113°3'38"	771964.000	9259685.000
P7	P7-P8	33.62	82°31'58"	771962.897	9259686.000
P8	P8-P9	30.89	189°16'52"	771983.000	9259693.000
P9	P9-P1	32.06	188°4'12"	771833.000	9259682.000

Area: 1857.86 m<sup>2</sup>  
 Area: 0.18579 ha  
 Perímetro: 163.81 m

**CUADRO DE DATOS TÉCNICOS DEL AREA CAL AGRICOLA - ZONA 3**

VERTICE	LADO	DESI.	ANGULO	ESTE	NORTE
P1	P1-P2	15.88	85°39'11"	771985.000	9260023.000
P2	P2-P3	80.43	62°2'07"	772000.650	9260024.314
P3	P3-P4	46.86	44°3'58"	772004.000	9260047.400
P4	P4-P1	31.49	158°11'19"	771996.000	9260062.000

Area: 666.61 m<sup>2</sup>  
 Area: 0.06666 ha  
 Perímetro: 120.28 m

**CUADRO DE DATOS TÉCNICOS DEL AREA CAL AGRICOLA - ZONA 1**

VERTICE	LADO	DESI.	ANGULO	ESTE	NORTE
P1	P1-P2	12.65	80°24'28"	772044.000	9259919.000
P2	P2-P3	5.10	87°37'00"	772046.000	9259936.000
P3	P3-P4	18.38	146°18'38"	772051.000	9260040.000
P4	P4-P5	6.86	108°24'19"	772046.000	9260038.000
P5	P5-P1	18.87	118°33'54"	772065.000	9260037.000

Area: 210.00 m<sup>2</sup>  
 Area: 0.02100 ha  
 Perímetro: 60.76 m

**INSTALACIONES ZONA 1**

N°	INSTALACION	COORDENADAS	
		UTM PSAD 56	ESTE
1	HORNO 12	772047	9259899
2	HORNO 13	772048	9259897
3	HORNO 1	772048	9259907
4	HORNO 2	772049	9259914
5	HORNO 3	772055	9259923
6	HORNO 4	772057	9259927
7	HORNO 5	772060	9259932
8	TANQUE DE AGUA	772072	9259919
9	SERVICIOS HIGIENICOS	772077	9259918
10	LAVATORIOS	772080	9259963
11	BOQUILLA DE EMERGENCIA	772086	9259919
12	TORRE	772087	9259924
13	ALMACEN	772091	9259920
14	OFICINA	772096	9259919
15	ZONA DE PARQUEO	772099	9259926
16	GUARDIANA Y ALMACEN	772092	9259942
17	ZONA DE CARGUO	772084	9259967
18	AREA DE MOLIENDA	772070	9259951
19	AREA DE SELECCION DE CAL	772070	9259926
20	RANCHA	772049	9259952
21	LABORATORIO	772087	9259924
22	ZONA DE CARGUO	772063	9259967
23	COMEDOR	772035	9259981
24	CASA FUERZA	772061	9259985
25	ACOPIO DE CARBON	772044	9259925
26	ALMACEN DE CAL CRUSA	772071	9259983
27	AREA DE RESIDUOS DE CAL	772071	9259914
28	TRINCHERA SANITARIA	772035	9260019
29	ACOPIO TEMPORAL DE RRSS	772077	9259948
30	AREA DE DESCARGUE Y SELECCION	772065	9259926

**INSTALACIONES ZONA 3**

N°	INSTALACION	COORDENADAS	
		UTM PSAD 56	ESTE
1	LETTRINA	771964	9260015
2	LETTRINA	771970	9260031
3	ACOPIO DE CARBON	771995	9259924
4	AREA DE MOLIENDA	771999	9259970
5	HORNO 3	772004	9259956
6	HORNO 9	771997	9259952
7	CARGA DE RESIDUOS DE CAL	772044	9259967
8	ZONA DE CARGUO	772007	9259946
9	AREA DE DESCARGUE Y SELECCION	772036	9259955
10	AREA DE ZARANDIJO	772005	9259961
11	AREA DE ACOPIO TEMPORAL DE CAL	772035	9259959
12	RANCHA	772036	9259955

**CUADRO DE DATOS TÉCNICOS DEL AREA EFECTIVA "PSAD 56"**

VERTICE	LADO	DESI.	ANGULO	ESTE	NORTE
P1	P1-P2	4.47	254°44'42"	771940.000	9259862.000
P2	P2-P3	29.43	189°43'24"	771938.000	9259865.000
P3	P3-P4	50.70	114°50'47"	771918.000	9259850.000
P4	P4-P5	38.02	281°50'45"	771931.000	9259801.000
P5	P5-P6	21.59	108°24'19"	771893.000	9259778.000
P6	P6-P7	21.10	181°10'22"	771888.000	9259773.000
P7	P7-P8	28.32	137°34'41"	771890.000	9259757.000
P8	P8-P9	31.62	172°32'27"	771911.000	9259736.000
P9	P9-P10	32.88	184°32'28"	771937.000	9259700.000
P10	P10-P11	30.46	159°46'40"	771968.000	9259700.000
P11	P11-P12	66.27	71°43'09"	772006.000	9259714.482
P12	P12-P13	61.19	189°2'45"	772000.000	9259714.482
P13	P13-P14	28.18	189°10'42"	771981.000	9259709.209
P14	P14-P15	18.89	228°31'34"	771962.687	9259687.374
P15	P15-P16	24.08	137°24'20"	771976.000	9259688.000
P16	P16-P17	26.98	120°1'97"	772078.207	9260059.850
P17	P17-P18	86.84	142°31'17"	772652.315	9260067.205
P18	P18-P19	92.82	111°52'20"	771860.688	9260011.811
P19	P19-P20	27.45	238°59'59"	771860.000	9259993.000
P20	P20-P21	32.20	100°22'28"	771833.000	9259934.000
P21	P21-P1	33.89	108°41'24"	771833.000	9259950.000

Area: 50843.02 m<sup>2</sup>  
 Area: 5.08430 ha  
 Perímetro: 1921.58 m

**INSTALACIONES ZONA 2**

N°	INSTALACION	COORDENADAS	
		UTM PSAD 56	ESTE
1	ALMACEN	771978	9259984
2	TANQUE DE AGUA	771993	9259723
3	DIFUSAS	771981	9259930
4	RANCHA	771909	9259787
5	AREA DE MOLIENDA	771993	9259811
6	AREA DE DESCARGUE Y SELECCION	771996	9259799
7	ACOPIO TEMPORAL	771997	9259980
8	HORNO 6	771909	9259795
9	HORNO 7	771988	9259792
10	HORNO 10	771988	9259796
11	HORNO 11	771990	9259782
12	ACOPIO DE CARBON	771982	9259799
13	LETTRINA	771985	9259783
14	TANQUE DE AGUA	771987	9259832
15	LETTRINA	771991	9259739
16	TRINCHERA SANITARIA	771992	9259738
17	CANCHA DE RESIDUOS DE CAL	771995	9259726
18	DESMONTERA	771963	9259757
19	LETTRINA	772057	9259776

**LEYENDA**

- AREA EFECTIVA DEL PROYECTO
- AREA EXPLOTADORA CANTERA 1
- AREA EXPLOTADORA CANTERA 2
- AREA DE CAL AGRICOLA
- PROYECTO DE LA CONEXION
- HORNOS
- DESMONTERAS
- CANCHAS (ALMACEN - BARRIO)
- PARQUEO DE VEHICULOS
- NORTE MAGNETICO

**PLANO DE INSTALACIONES**

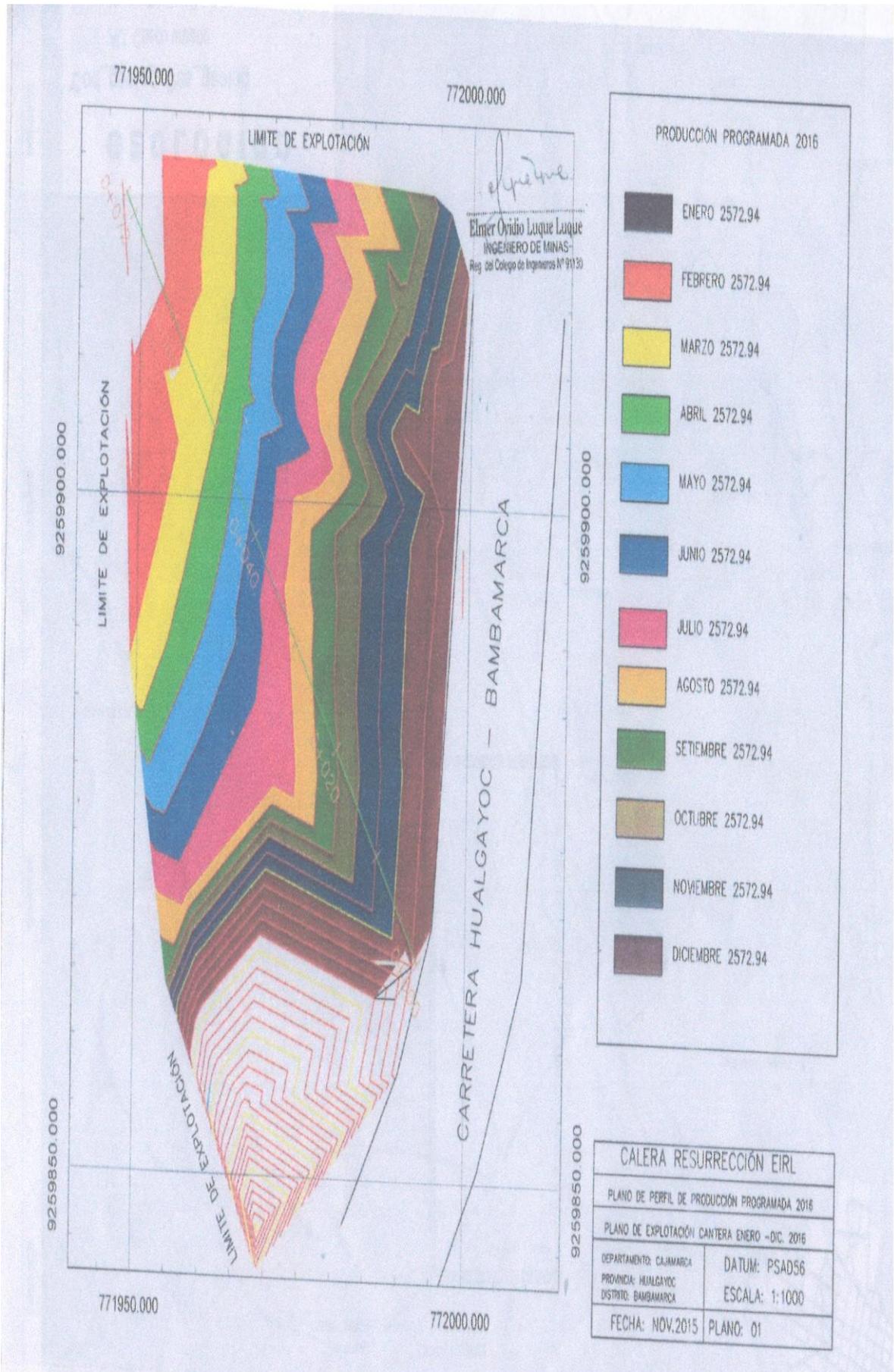
PROYECTO: **PROYECTO "RESURRECCION"**

PLANO: **UBICACION DE LAS INSTALACIONES DE MINA**

OPEDA: **CANTONAL**    PVE: **PSAD 56**    DESTINO: **EN SERVICIO**    PLANO: **P-0**

ORIGEN: **EM/L**    VNO: **JACON**    FECHA: **NOVIEMBRE 2015**    ESCALA: **1:500**

**Anexo 5: Plano de producción programada del plan de minado del  
proyecto minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016**

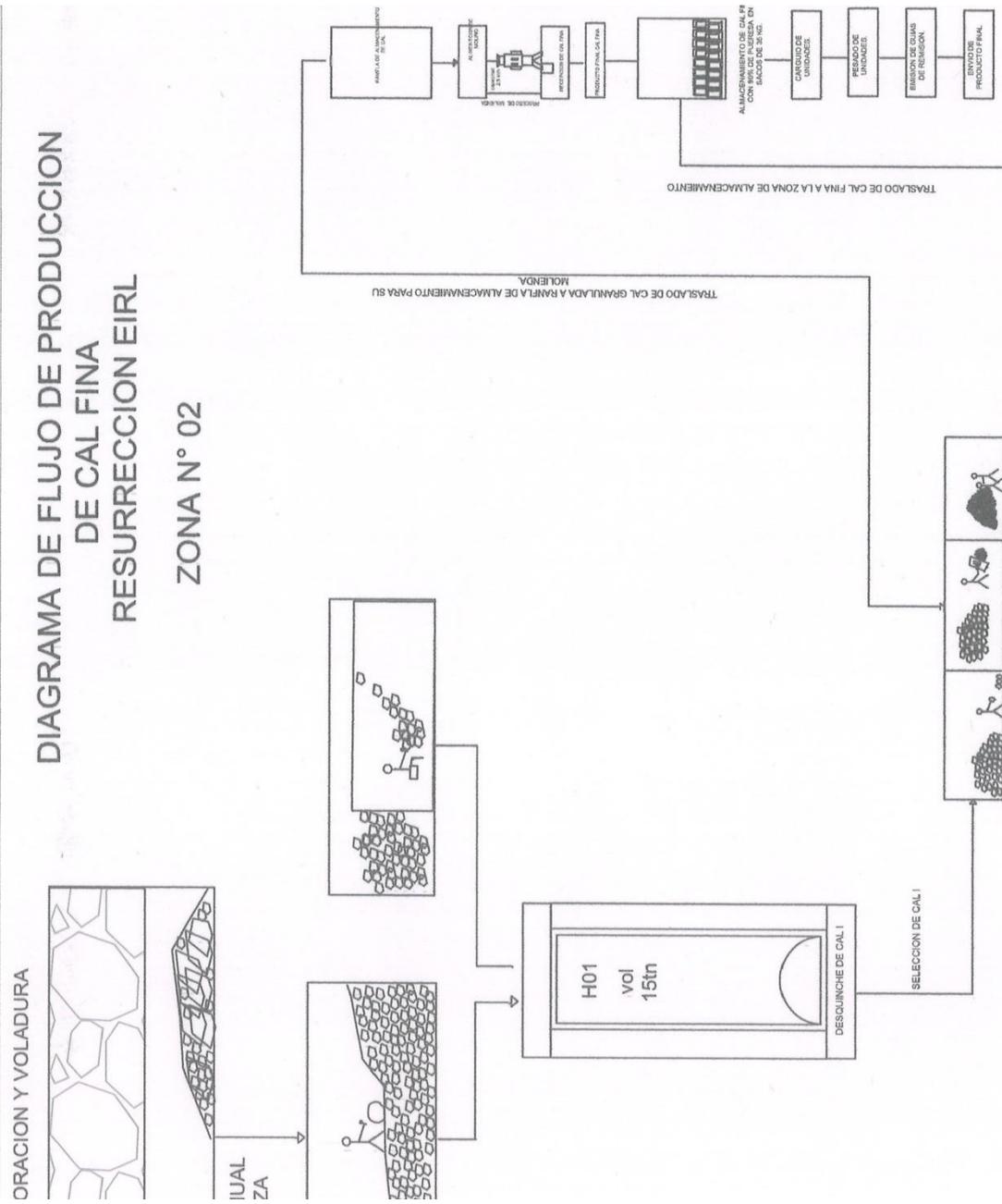


Fuente: Elaboración propia – 2016.

**Anexo 6: Diagramas de flujo de producción de cal fina del proyecto  
minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016**

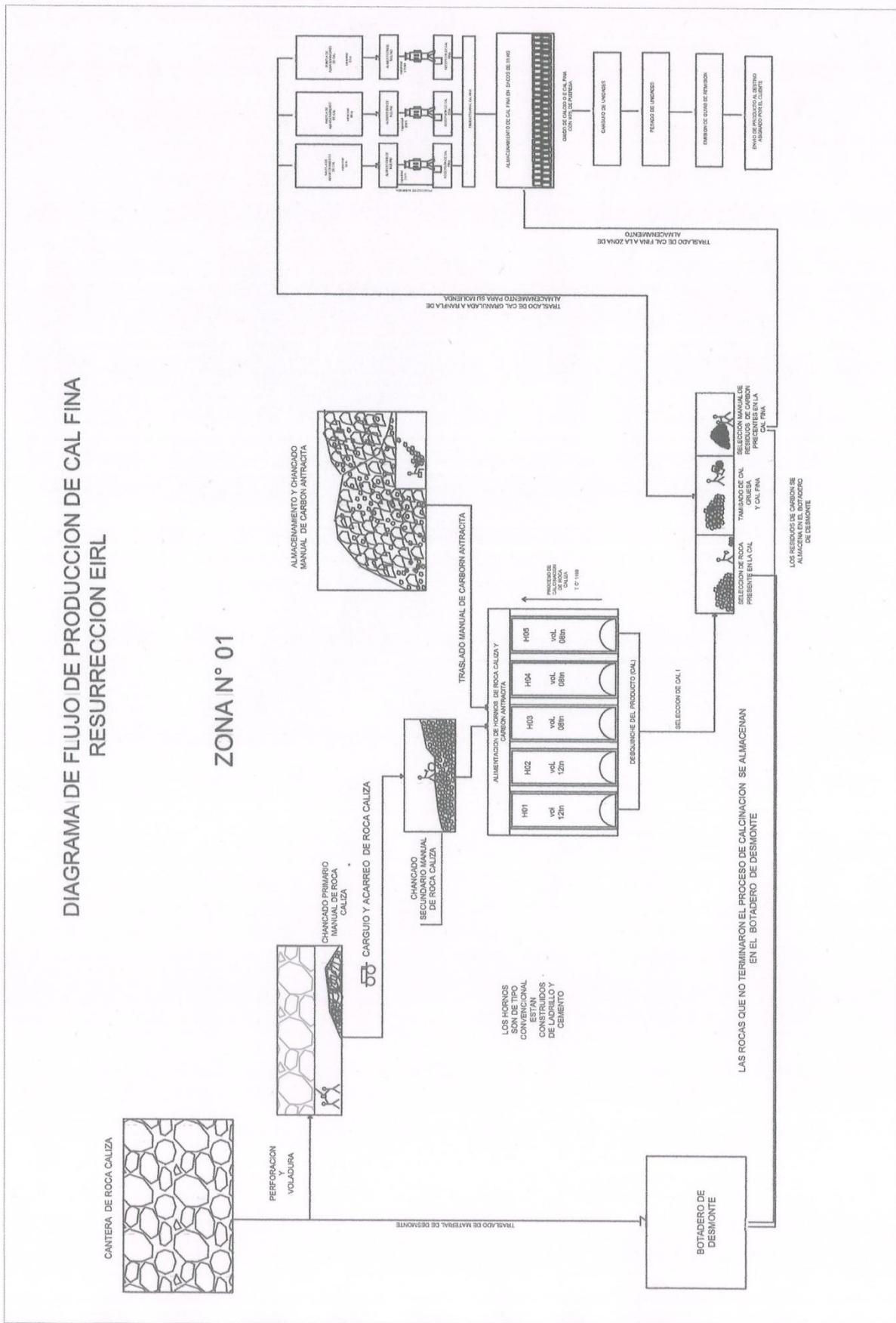
Fuente: Elaboración pro

# DIAGRAMA DE FLUJO DE PRODUCCION DE CAL FINA RESURRECCION EIRL ZONA N° 02



# DIAGRAMA DE FLUJO DE PRODUCCION DE CAL FINA RESURRECCION EIRL

ZONA N° 01



Fuente: Elaboración propia – 2016.

**Anexo 7: Cantera de explotación de óxido de calcio del proyecto.**



**Figura 36:** Cantera de explotación de óxido de calcio del Proyecto Minero La Resurrección E.I.R.L. – 2016.

**Fuente:** Elaboración propia – 2016.



**Figura 37:** Verificación y observación del macizo rocoso del proyecto minero – 2016.

**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

## Anexo 8: Ubicación de hornos de calcinación del proyecto.



**Figura 38:** Ubicación de hornos de calcinación del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.



**Figura 39:** Recolección de datos en campo, apoyo del jefe de operaciones – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.



**Figura 40:** Carguío de hornos para la producción de CaO del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.



**Figura 41:** Retiro de la roca convertida en CaO granulado del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.



**Figura 42:** Selección del CaO de acuerdo a la granulometría del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

### **Anexo 9: Almacenamiento de óxido de calcio (CaO).**



**Figura 43:** Almacenamiento de CaO en el almacén del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.



**Figura 44:** Almacenamiento de cal granulada del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.



**Figura 45:** Almacenamiento de cal fina del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

## Anexo 10: Instalación del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L.



**Figura 46:** Instalación de zonas de carguío del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.



**Figura 47:** Instalaciones de oficinas centrales del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.



**Figura 48:** Sala de reuniones del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L, – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

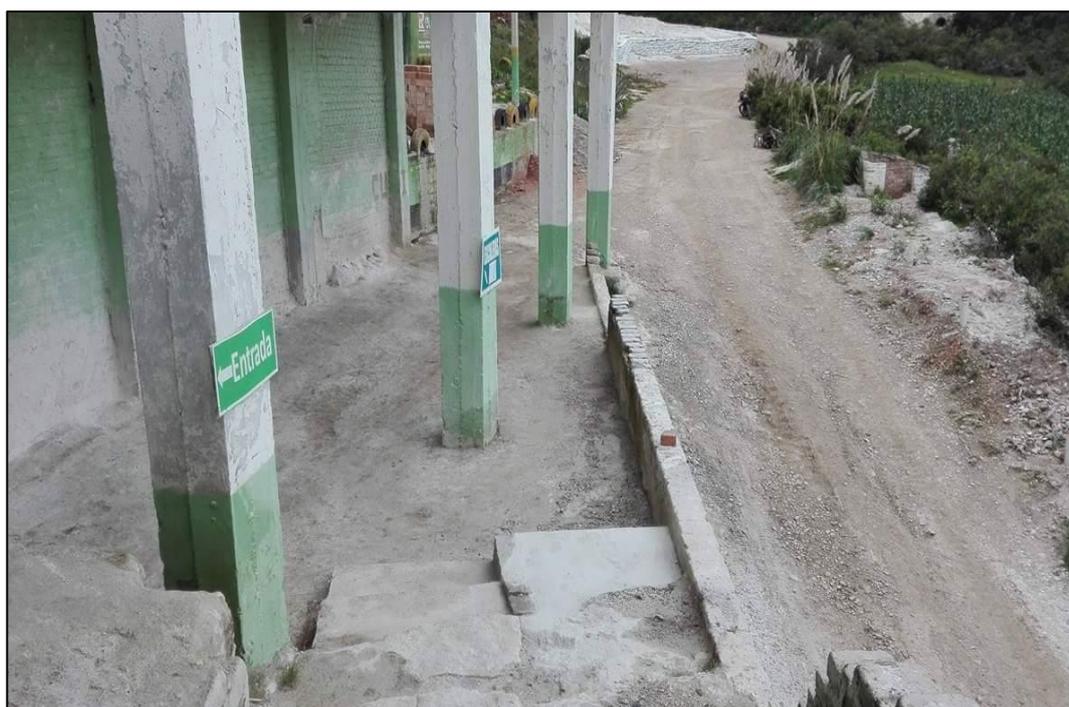


**Figura 49:** Almacén de herramientas del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

**Anexo 11: Señalizaciones del proyecto minero La Resurrección  
E.I.R.L. - 2016**



**Figura 50:** Señalización de uso de EPP dentro del área de trabajo del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.



**Figura 51:** Señalización de entrada al acceso de carguío del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.



**Figura 52:** Señalización de escaleras a los hornos de producción del proyecto – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.

## Anexo 12: Ciclo de operaciones para la producción de cal del proyecto minero La Resurrección E.I.R.L. - 2016



**Figura 53:** Recolección de datos en campo apoyo del jefe de operaciones – 2016.  
**Fuente:** Elaboración propia – 2016.