



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DEL MÉTODO SHRINKAGE STOPPING APLICADO A LA EXPLOTACIÓN DE LA VETA EL GALLO, MINA CAMPANA DE ORO, LA LIBERTAD”- AGOSTO 2015.

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autor:**

Roy Guadalupe Muñoz

**Asesor:**

Mg. Ing. José Alfredo Siveroni Morales

Cajamarca – Perú

2015

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DE LA TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1. Realidad problemática .....	15
1.2. Formulación del problema.....	15
1.3. Justificación.....	15
1.3.1. <i>Justificación teórica</i> .....	16
1.3.2. <i>Justificación aplicativa o práctica</i> .....	16
1.3.3. <i>Justificación valorativa</i> .....	16
1.3.4. <i>Justificación académica</i> .....	16
1.4. Limitaciones .....	17
1.5. Objetivos .....	17
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	17
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	17
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>18</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1. Antecedentes .....	19
2.2. Bases Teóricas .....	19
2.2.1. <i>Shrinkage Stoping</i> .....	19
2.2.2. <i>Resumen de los estándares del método Shrinkage Stoping</i> .....	21
2.2.3. <i>Esquema del Shrinkage Stoping</i> .....	21
2.2.4. <i>Condiciones de aplicación</i> .....	22
2.2.5. <i>Principios</i> .....	23
2.2.6. <i>Desarrollo</i> .....	23
2.2.7. <i>Extracción</i> .....	23
2.2.8. <i>Estocadas y galerías</i> .....	23
2.2.9. <i>Cuerpos más anchos</i> .....	24
2.2.10. <i>Arranque</i> .....	24

2.3.	Ciclo de Minado .....	25
2.3.1.	<i>La perforación y voladura</i> .....	25
2.4.	Manejo de mineral y sistemas de recolección .....	26
2.5.	Buloneo y sistema gravitacional .....	29
2.5.1.	<i>Densidad aparente</i> .....	30
2.5.2.	<i>Diferencial de densidad aparente</i> .....	30
2.5.3.	<i>Fragmentación y Flujo</i> .....	30
2.5.4.	<i>Fragmentación variable en la columna de extracción</i> .....	31
2.6.	Modelos de Extracción.....	31
2.6.1.	<i>Potencial de equilibrio</i> .....	32
2.7.	Variantes .....	32
2.8.	Ventilación.....	33
2.9.	Fortificación y sostenimiento.....	34
2.9.1.	<i>Vaciado</i> .....	34
2.10.	Relleno .....	34
2.10.1.	<i>Usos del material de relleno</i> .....	34
2.10.2.	<i>Tipos de relleno</i> .....	35
2.11.	Ventajas y desventajas el método .....	37
2.11.1.	<i>Las ventajas</i> .....	37
2.11.2.	<i>Las desventajas</i> .....	38
2.11.3.	<i>Formas de disminuir las desventajas</i> .....	39
2.12.	Diseño de infraestructuras subterráneas para el método de explotación .....	40
2.12.1.	<i>Losa</i> .....	40
2.13.	Esfuerzos actuando en la losa .....	41
2.13.1.	<i>Tectónica y Relación entre esfuerzos</i> .....	41
2.14.	Análisis de esfuerzo previa excavación de caserones .....	42
2.14.1.	<i>El diseño</i> .....	42
2.14.2.	<i>Solicitaciones sobre muro</i> .....	42
2.15.	Preparación de la base de un caserón .....	42
2.16.	Factores a considerar en el diseño de la base de un caserón .....	44
2.17.	Sistema de Carguío .....	46
2.18.	Embudos .....	47
2.19.	Zanjas .....	48
2.19.1.	<i>Construcción de la zanja</i> .....	50
2.20.	Estocadas de carguío o draw point .....	52
2.21.	Chimeneas.....	57
2.22.	Condiciones de diseño para una chimenea .....	57
2.23.	Flujo en una chimenea .....	59
2.24.	Diseño de una chimenea.....	64
2.25.	Parrillas .....	65
2.25.1.	<i>Diseño de la Parrilla</i> .....	66
2.26.	Buzón .....	68
2.26.1.	<i>Elementos de diseño del buzón</i> .....	69
2.26.2.	<i>Consideraciones en el diseño</i> .....	69
2.26.3.	<i>Seguridad</i> .....	70

2.26.4.	<i>Principales causas de accidentes en descarga por buzones</i> .....	70
2.26.5.	<i>Flujo de agua a través del mineral quebrado</i> .....	70
2.26.6.	<i>Dimensionamiento</i> .....	72
2.26.7.	<i>Restricción</i> .....	73
2.26.8.	<i>Trancaduras en buzón</i> .....	73
2.26.9.	<i>Composición del sistema buzón.</i> .....	73
2.27.	Definición de términos básicos .....	76
<b>CAPÍTULO 3.</b> .....		<b>81</b>
<b>HIPÓTESIS</b> .....		<b>81</b>
3.1.	Formulación de la hipótesis .....	82
3.2.	Variables .....	82
3.2.1.	<i>Variable independiente</i> .....	82
3.2.2.	<i>Variable dependiente</i> .....	82
3.3.	Operacionalización de variables .....	82
<b>CAPÍTULO 4.</b> .....		<b>84</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....		<b>84</b>
4.1.	Tipo de diseño de investigación.....	85
4.2.	Material de estudio.....	85
4.2.1.	<i>Unidad de estudio</i> .....	85
4.2.2.	<i>Población</i> .....	85
4.2.3.	<i>Muestra</i> .....	85
4.3.	Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	85
4.3.1.	<i>De recolección de información.</i> .....	85
4.3.2.	<i>De análisis de información.</i> .....	86
4.3.3.	<i>Las técnicas utilizadas en el estudio.</i> .....	86
<b>CAPÍTULO 5.</b> .....		<b>87</b>
<b>RESULTADOS</b> .....		<b>87</b>
5.1.	Ubicación y Accesibilidad.....	88
5.1.1.	<i>Ubicación</i> .....	88
5.1.2.	<i>Accesibilidad</i> .....	88
5.1.3.	<i>Historia del yacimiento y propiedad minera</i> .....	88
5.1.4.	<i>Clima y vegetación</i> .....	89
5.1.5.	<i>Geografía</i> .....	89
5.2.	Geología.....	90
5.2.1.	<i>Propiedad</i> .....	90
5.2.2.	<i>Geología regional</i> .....	92
5.2.3.	<i>Geología local</i> .....	92
5.3.	Estratigrafía .....	92
5.3.1.	<i>Grupo goyllarisquizga</i> .....	92
5.3.2.	<i>Grupo Calipuy</i> .....	93
5.4.	Geología Estructural .....	93

5.5.	Geología Económica.....	94
5.5.1.	<i>Ocurrencias de mineralización</i> .....	94
5.6.	Estructura Mineralizada .....	95
5.6.1.	<i>Veta el gallo</i> .....	95
5.6.2.	<i>Características del cuerpo mineralizado</i> .....	96
5.7.	Recursos Geológicos .....	96
5.8.	Mineralización .....	97
5.9.	Tectónica.....	97
5.10.	Marco Metalogenético.....	98
5.11.	Secuencia Paragenética .....	98
5.12.	Génesis del yacimiento .....	99
5.13.	Geología de Minas .....	99
5.13.1.	<i>Control fisiográfico</i> .....	99
5.13.2.	<i>Control mineralógico</i> .....	100
5.13.3.	<i>Control estructural</i> .....	100
5.14.	Shrinkage Stoping aplicado a la veta el gallo .....	101
5.15.	Cálculo de reservas y valor de mineral.....	103
5.16.	Calculo de la dilución y recuperación para el método Shrinkage Stoping.....	105
5.17.	Valor del mineral en el caso de ambos métodos de minado .....	106
5.18.	Productividad para el método Shrinkage Stoping.....	107
5.19.	Valorización de la veta El Gallo .....	108
5.20.	Preparación.....	109
5.20.1.	<i>Niveles</i> .....	109
5.20.2.	<i>Galería</i> .....	109
5.20.3.	<i>Chimeneas</i> .....	110
5.21.	Desarrollo.....	110
5.21.1.	<i>Subniveles o "box holes"</i> .....	110
5.22.	Minado.....	111
5.22.1.	<i>Equipos y personal requeridos en la preparación y explotación.</i> .....	111
5.22.2.	<i>Perforación</i> .....	112
5.22.3.	<i>Voladura</i> .....	114
5.23.	Control de calidad .....	114
5.24.	Transporte y ventilación en la operación .....	115
5.25.	Ley mínima de corte.....	117
5.26.	Análisis de rentabilidad y costos.....	118
<b>CAPÍTULO 6.</b> .....		<b>121</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>123</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>124</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....		<b>125</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>126</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estándares del método Shrinkage Stopping .....	21
Tabla 2 Distancia de accesibilidad al proyecto Mina Campana de Oro .....	88
Tabla 3 Características de la estructura mineralizada.....	96
Tabla 4 Proyección del cuerpo mineralizado.....	96
Tabla 5 Descripción de métodos y su factor de recuperación .....	104
Tabla 6 Características de Leyes y porcentajes de recuperación.....	104
Tabla 7 Diseño de dilución se O`hara .....	106
Tabla 8 Cuadro con leyes diluidas .....	106
Tabla 9 Tabla de productividad para el proyecto.....	106
Tabla 10 Productividad para el método Shrinkage Stopping .....	107
Tabla 11 Valorización de la veta el gallo .....	108
Tabla 12 Equipos requeridos en la perforación .....	112
Tabla 13 Personal requerido para la operación.....	112
Tabla 14 Costo de perforación .....	113
Tabla 15 Costo de voladura .....	114
Tabla 16 Costo de Transporte y ventilación .....	116
Tabla 17 Ventilación requerida para la operación en CFM.....	116
Tabla 18 Costos involucrados en el cálculo de la Ley de Corte .....	117
Tabla 19 Datos arrojados en el análisis económico .....	119
Tabla 20 Tabla de análisis financiero.....	120
Tabla 21 Resultado del Análisis económico financiero.....	120

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1 Esquema del método Shrinkage Stoping.....	21
Grafico 2 diseño del método Shrinkage Stoping .....	22
Grafico 3 Vista isométrica, Chute, Método Shrinkage Stoping .....	27
Grafico 4 Vista isométrica de corte transversal del carril, Shrinkage Stoping .....	28
Grafico 5 Forma Geométrica de Caserón .....	28
Grafico 6 Esquema de recolección de Mineral.....	29
Grafico 7 Esquema de Buloneo gravitacional .....	29
Grafico 8 Modelo con Extracción Continua, método mecanizado.....	31
Grafico 9 Modelo con Extracción Discontinuada o Estática: método convencional .....	32
Grafico 10 cámara de mineral fracturado y mineral intacto .....	33
Grafico 11 Esquema de aplicación de tiros largos .....	33
Grafico 12 Tipos de relleno y características de uso.....	36
Grafico 13 Esquema de costo de relleno en minería convencional .....	36
Grafico 14 Esquema de flujo del método Shrinkage Stoping.....	40
Grafico 15 Esquema de diseño de losa de seguridad .....	40
Grafico 16 Esfuerzos actuando sobre la losa de seguridad .....	41
Grafico 17 Diseño estructural de las bases para el caserón.....	43
Grafico 18 Ancho efectivo de pilar .....	44
Grafico 19 Distancia entre puntos de extracción .....	44
Grafico 20 Sistema de carguío.....	47
Grafico 21 Diseño de embudo .....	47
Grafico 22 Esquema de diámetros para los pilares.....	48
Grafico 23 Esquema de diseño de Embudos para caída de mineral .....	49
Grafico 24 Diseño de embudo con estocada .....	49
Grafico 25 Vista frontal del diseño de embudo en una galería .....	50
Grafico 26 Diseño de zanjas .....	50
Grafico 27 Perforación de zanja colectora .....	51
Grafico 28 Esquema de perforación.....	51
Grafico 29 Diseño de estocadas de carguío .....	53
Grafico 30 Esquema de una estocada de carguío .....	54
Grafico 31 Refuerzos con acero en estocada de carguío.....	54
Grafico 32 Esquema de carguío a camiones .....	55
Grafico 33 Altura de desquinche.....	55

Grafico 34 Medidas para carguío con equipo.....	56
Grafico 35 Detalle de desquinche para scoop.....	56
Grafico 36 Diseño de chimenea para carguío .....	57
Grafico 37 Esquema de sistemas de chimeneas .....	58
Grafico 38 Esquema general de flujo de mineral en chimeneas.....	59
Grafico 39 Esquema de flujo de mineral .....	60
Grafico 40 Esquema de flujo para material Fino .....	61
Grafico 41 Esquema de colgadura de material .....	62
Grafico 42 Esquema de para solución de colgaduras de material.....	63
Grafico 43 Esquema de parrilla.....	65
Grafico 44 Diseño de Parrilla .....	66
Grafico 45 Dimensionamiento de parrilla .....	67
Grafico 46 consideraciones para el dimensión de una parrilla .....	67
Grafico 47 Esquema y dimensionamiento de buzón de carguío.....	69
Grafico 48 Angulo y altura de descarga .....	71
Grafico 49 Regulador de sección actuando con cadenas .....	71
Grafico 50 Esquema de Dimensionamiento de buzón.....	72
Grafico 51 Composición del sistema buzón Normal.....	75
Grafico 52 Composición del sistema buzón con cadenas .....	75
Grafico 53 Ubicación y acceso a Campan de Oro.....	90
Grafico 54 Plano Geológico Local.....	91
Grafico 55 Ilustración de método de explotación Shrinkage Stoping.....	102
Grafico 56 Vista de perfil del método de explotación Shrinkage Stoping.....	102
Grafico 57 Plano geológico veta El Gallo .....	103



## RESUMEN

En el presente trabajo de tesis, se presenta el estudio del Método Shrinkage Stopping y su análisis técnico y económico en la explotación de la veta El Gallo en la mina Campana de Oro, se analiza el incremento de un 37% en la producción. Se programa incrementar paulatinamente la producción mensual con el objetivo de cubrir la capacidad instalada y autorizada de la planta de beneficio (2, 000 ton/mes). Para el año 2016 se plantea continuar con dicha producción.

Se presenta la información en seis capítulos, fundamentada en el análisis de las condiciones geológicas, geométricas y el estudio geomecánico de la veta y su entorno físico como base para el análisis técnico del método aplicado para la explotación de la veta El Gallo (tabla N° 01).

Posteriormente el método se evalúa bajo consideraciones económicas (dilución, valor del mineral y costo de producción) como se describe en la tabla N° 18. En base a estas consideraciones se realiza la evaluación económica empleando los criterios del "VAN" y "TIR" (tablas N° 19, 20 y 21) cuyo análisis finalmente permitirá determinar la rentabilidad del método en la explotación de la veta El Gallo.

## ABSTRACT

In this thesis, the study of Shrinkage Stopping Method and its technical and economical exploitation of the grain El Gallo de Oro mine Bell analysis is presented, the 37% increase in production is analyzed. It is programmed to gradually increase the monthly output in order to meet the installed capacity and authorized processing plant (2, 000 ton / month). For 2016 it is proposed to continue with this production.

Information is presented in six chapters, based on the analysis of geological, geometrical conditions and geomechanical study of the grain and its physical environment as the basis for technical analysis applied to the operation of the grain El Gallo (Table No. 01 method).

Later the method was evaluated under economic considerations (dilution, mineral value and production cost) as described in Table No. 18. Based on these considerations the economic evaluation is performed using the criteria of "VAN" and "TIR" ( Tables No. 19, 20 and 21) which finally analysis will determine the performance of the method in the operation of the grain El Gallo.

## **NOTA DE ACCESO**

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

## REFERENCIAS

1. Bieniawski Z.T. Publication (1989). "Engineering Rock Mass Clasification" Willey – Interscience.
2. Brady B.H.G & brown E.T. (2005) "Rock mechanics for Underground Mining" Third Edition Kluwer Academic Publishers.
3. Esterhuizen G.S. (1999). "Evaluation of the strength of slender pillars" National Intitute for Ocupational Safety and Health (NIOSH, PA.). Pennsylvania.
4. Explotacion de minas (Julián Ortiz C.) – Universidad de Chile.
5. Gago O: 1996, "Selección Numérica de los Métodos de Explotación".
6. Hoek E., Kaiser P., Bawden W. (1995). "Support of Underground Excavations in Hard Rock" A.A. Balkema.
7. Howard, L. Hartman (1992) "SME Mining Engineering Handbook". Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Colorado.
8. Informes técnicos de las minas (Toma la mano, Don Eliceo, etc.).
9. Ladera N: (1989) "Estado Tecnológico de las Minas Subterráneas en el Perú"
10. Lipalile, M. A.W. Naismith†, and A.B. Tunono. (Octubre 2005). "Geotechnical considerations in the design of the MOCB mining method at Konkola No. 3 shaft".
11. Mark S. Diederichs and Peter K. Kaiser. (1996). "Rock Instability and Risk Analyses in Open Stope Mine Design". Canada, Geotech.
12. Mike Turner. ( April 2003) "Australian Mining Consultants Shrinkage Methods".
13. Mining Methods in Underground Mining (2007) ATLAS COPCO, Ingles.
14. Planeamiento de minado Henry Huges , Ingles.
15. Richard E. and Gertsch L. (1998). "Seleccions From Underground Mining Methods Handbook".
16. Shrinkage Stoping (June 2008). 5th International Conference and Exhibition on Mass Mining, Luleå Sweden.
17. SOCIEDAD MINERA CAMPANA DE ORO S.A.: Archivo departamento de geología.
18. SOCIEDAD MINERA CAMPANA DE ORO S.A.: Archivo departamento de Minas.
19. SOCIEDAD MINERA CAMPANA DE ORO S.A.: Departamento Geotecnia y Sostenimiento.
20. SOCIEDAD MINERA CAMPANA DE ORO S.A.: Archivo departamento de Ingeniería.